TÖMEGELOSZLÁS FOGALOMKÖRE – Anyagsűrűség, testsűrűség, halmazsűrűség, tömörség, porozitás –

Dr. Kausay Tibor
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Budapest, 2007. március
Frissítve: 2018. március

KÉPLETEK ÉS SZÁMPÉLDÁK A SŰRŰSÉGMÉRÉS FOGALOMKÖRÉBŐL

erre a szövegre kattintva jeleníthetők meg.

TESTSŰRŰSÉG

Porózus anyagok sűrűség és fajlagos súly fogalomköre

SŰRŰSÉG fogalomköre	FAJLAGOS SÚLY fogalomköre
$\frac{Tömeg}{Térfogat} \left[\frac{kg}{m^3}; \quad \frac{g}{cm^3} \right]$	$\frac{Súly \quad (erő)}{Térfogat} = \frac{Tömeg \quad \cdot Gyorsulás}{Térfogat} \left[\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m^3} = \frac{N}{m^3} \right]$

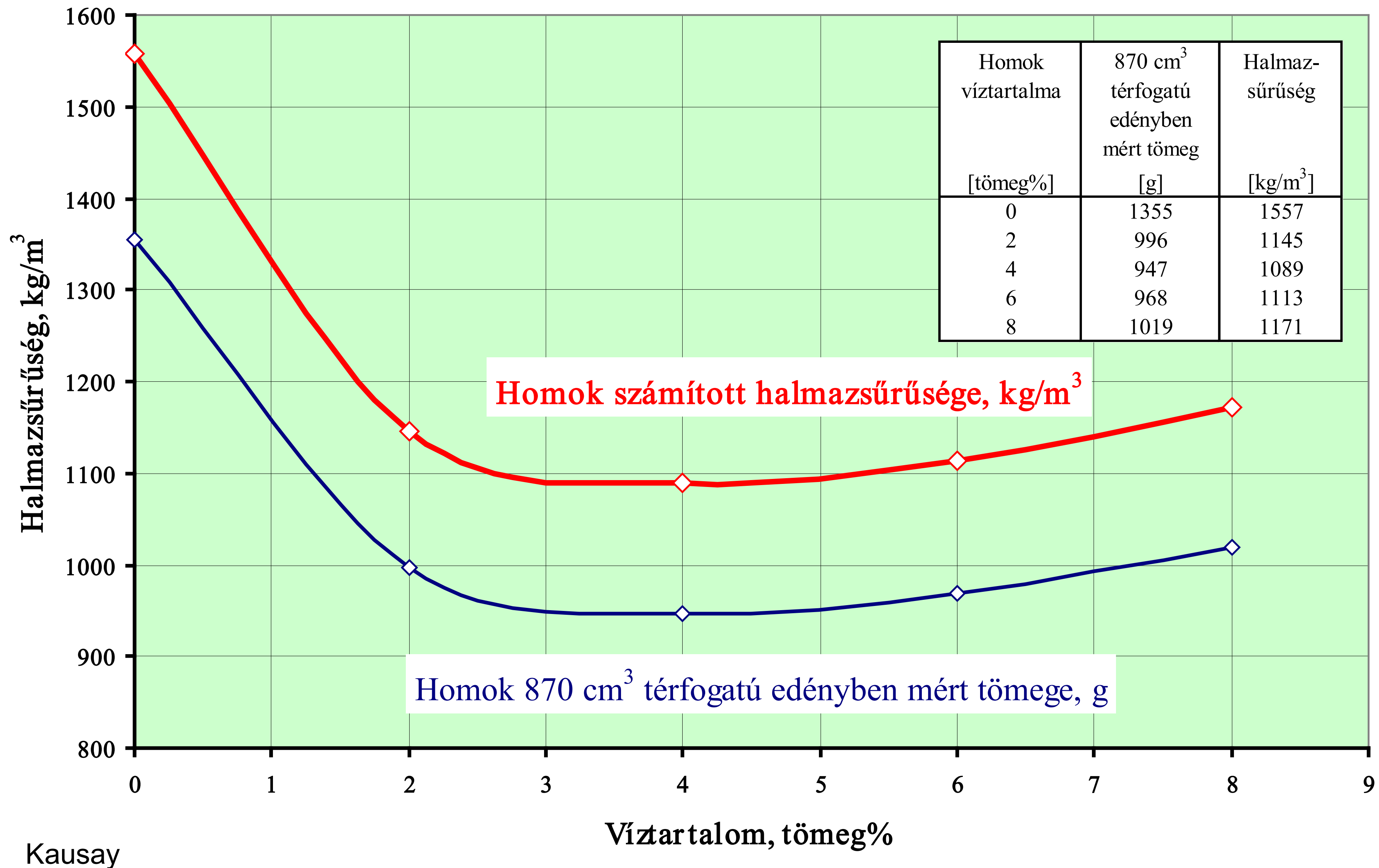
Az 1 kg tömegű test súlya 9,81 ~ 10 N

1 tonna(súly) = 1000 kilogrammsúly = 9,81·10^3 N ~ 10 kN

A 100 tonnás törőgép mérési tartománya 1000 kN = 1 MN

Anyagsűrűség	Fajsúly
A minta (pl. 0,2 mm alá porított szemek) térfogata nem tartalmaz pórusokat	
Testsűrűség	**Térfogatsúly**
A minta (pl. porítatlan szemek) térfogata tartalmaz pórusokat	
Halmazsűrűség	**Halmazsúly**
A minta (pl. szemhalmaz) térfogata pórusokat és a szemek között hézagokat tartalmaz	

A laza homok halmazsűrűsége a víztartalom függvényében



Homok víztartalma [tömeg%]	870 cm^3 térfogatú edényben mért tömeg [g]	Halmaz-sűrűség [kg/m^3]
0	1355	1557
2	996	1145
4	947	1089
6	968	1113
8	1019	1171

FAJLAGOS SŰRŰSÉG FOGALOMKÖRE

Tömörség

$$Tömörség = \frac{Testsűrűség}{Anyagsűrűség} = \frac{Anyagtérfogat}{Testtérfogat} \qquad t = \frac{\rho_T}{\rho_A} = \frac{M / V_T}{M / V_A} = \frac{V_A}{V_T}$$

Porozitás

$$Porozitás = \frac{Anyagsűrűség - Testsűrűség}{Anyagsűrűsűg} =$$

$$= \frac{Testtérfogat - Anyagtérfogat}{Testtérfogat} = \frac{Hézagok \quad térfogata}{Testtérfogat}$$

$$Porozitás = 1 - Tömörség \qquad p_{szemcse} = \frac{\rho_A - \rho_T}{\rho_A} = \frac{M / V_A - M / V_T}{M / V_A} = 1 - \frac{V_A}{V_T} = 1 - t$$

Látszólagos porozitás [térfogat%/100]

$$p_{látszólagos} = Látszólagos \quad porozitás = \frac{Pórusokba \quad felvett \quad víz \quad térfogata}{Testtérfogat} =$$

= a test vízfelvétele térfogat arányban, azaz térfogat%-ban és osztva 100-zal

$$p_{látszólagos} = \frac{V_{Víz,\,p}}{V_T} = \frac{M_{Víz,\,p} / \rho_{Víz}}{M / \rho_T} = \frac{M_{Víz,\,p}}{\rho_{Víz}} / \frac{M}{\rho_T} = \frac{M_{Víz,\,p}}{M} \cdot \frac{\rho_T}{\rho_{Víz}} = n \cdot \frac{\rho_T}{\rho_{Víz}}$$

ahol n = vízfelvétel [tömeg%/100], nevezetlen szám,

$$n = Vízfelvétel = \frac{Vizes \quad tömeg \quad - \quad Száraz \quad tömeg}{Száraz \quad tömeg} = \frac{M_{Víz,\,p}}{M}$$

= a test vízfelvétele tömeg arányban, azaz tömeg%-ban és osztva 100-zal:

MEGJEGYZÉS: ***A*** ***látszólagos porozitás*** ***összefüggésében a*** $\rho_T/\rho_{Víz}$ ***hányados neve „az anyag relatív testsűrűsége”. A relatív testsűrűség nevezetlen szám, és azt mutatja meg, hogy az anyag testsűrűsége hányszorosa a víz sűrűségének.***

A relatív testsűrűség szerepel például az MSZ EN 934-2:1998 (Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés) európai szabvány 1. táblázatában

Példa a látszólagos porozitásra

Legyen egy anyag *anyagsűrűsége*: $\rho_A = 3000$ kg/m^3

***testsűrűsége*: $\rho_T = 2400$ kg/m^3,**

amiből a *tömörsége*: t = 2400/3000 = 0,8

***porozitása*: p = 1 – 0,8 = 0,2**

***látszólagos porozitása*: $p_{látszólagos}$ = víztérfogat/testtérfogat =**

200/1000 = 0,2, azaz a látszólagos porozitás

teljes víztelítés esetén a porozitás közelítő értéke,

***vízfelvétele* teljes víztelítés esetén: n = 200/2400 = 0,08333 < 0,2 = p**

és a *látszólagos porozitása*:

$$p_{látsz} = n \cdot (\rho_T/\rho_{Víz}) = 0{,}08333 \cdot 2400/1000 = 0{,}2$$

Ha az építőanyag testsűrűsége a víz sűrűségénél nagyobb,

azaz a relatív testsűrűség 1-nél nagyobb, akkor

a látszólagos porozitás ($p_{látszólagos} = n \cdot \rho_T/\rho_{Víz}$)

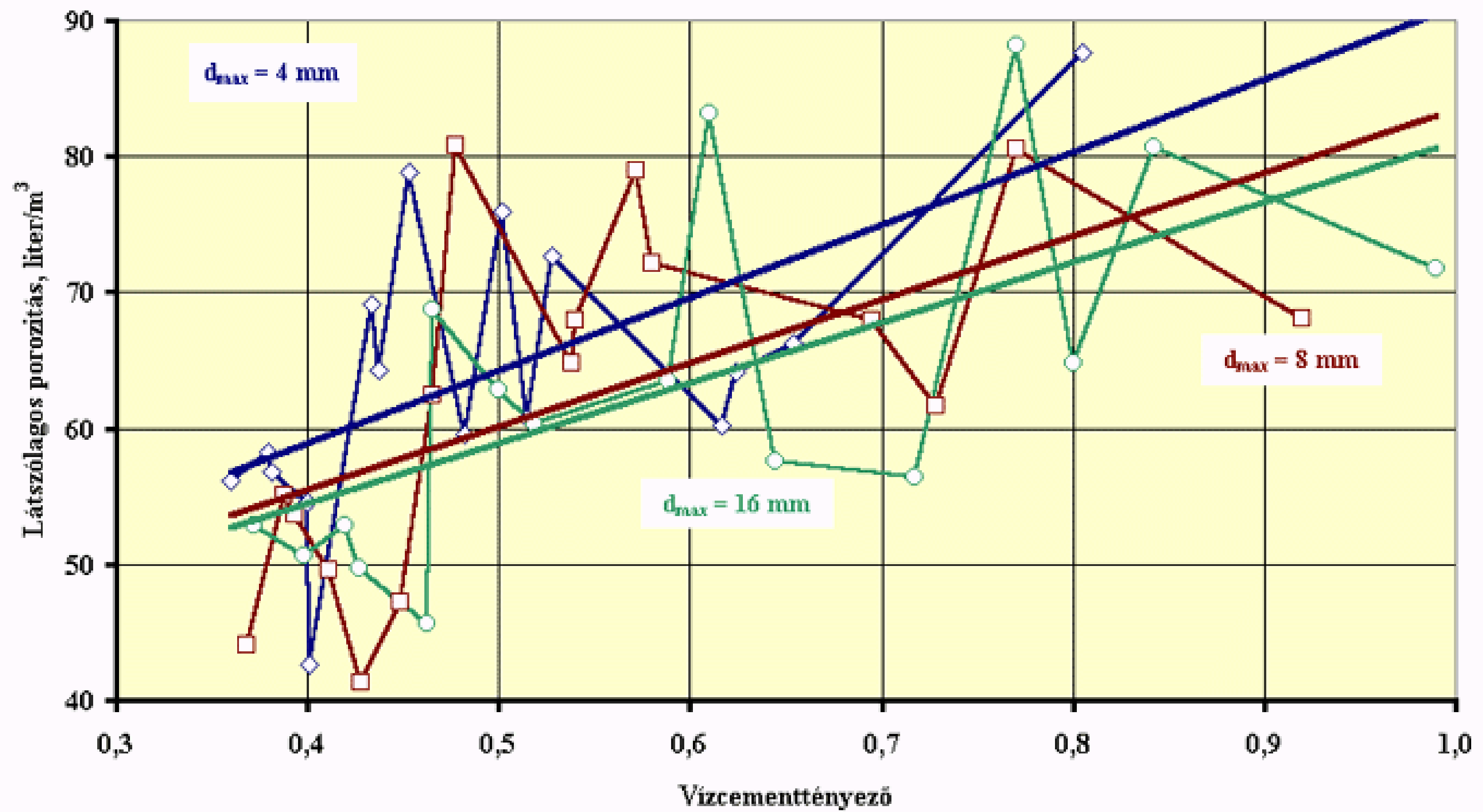
a vízfelvételnél nagyobb, és fordítva

Példák különböző építőanyagok látszólagos porozitására

	Mészkő	Andezit	Kavicsbeton	Andezit -tufa	Tégla	Dácit-tufa	Fa	Pórusbeton
ρ_A	2,716	2,685	2,871	2,746	2,729	2,487	1,534	2,247
ρ_T	2,643	2,386	2,349	2,335	1,661	1,399	0,718	0,581
p	0,0269	0,1114	0,1818	0,1497	0,3914	0,4375	0,5319	0,7414
n	0,0038	0,0381	0,0542	0,0427	0,2246	0,2381	0,5536	0,6249
δ_T	2,648	2,390	2,353	2,339	1,664	1,402	0,719	0,582
Plátszólag.	0,0101	0,0911	0,1275	0,0999	0,3737	0,3338	0,3980	0,3637

A következő ábra azt mutatja be, hogy beton esetén növekvő víz-cement tényezőhöz és csökkenő adalékanyag legnagyobb szemnagysághoz növekvő látszólagos porozitás tartozik.

Ez egyik magyarázatát adja annak, hogy betontervezés során a pórustartalom alacsony szinten tartása érdekében is törekszünk kis víz-cement tényező és megengedhetően nagy adalékanyag legnagyobb szemnagyság alkalmazására.


A beton látszólagos porozitása a vízcementtényező és a homokos kavics adalékanyag d_{max} legnagyobb szemnagysága függvényében
d_{max} = 4 mm
d_{max} = 8 mm
d_{max} = 16 mm
Látszólagos porozitás, liter/m³
Vízcementtényező
90
80
70
60
50
40
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0

Abszolút halmaztömörség

$$Abszolut \quad halmaztömörség = \frac{Halmazsűrűség}{Anyagsűrűség} = \frac{\rho_H}{\rho_A} = \frac{M / V_H}{M / V_A} = \frac{V_A}{V_H} = t_{Abs\ halmaz}$$

Halmazporozitás = Összporozitás = Porozitás + Hézagtérfogat·Tömörség, ahol

a *Hézagtérfogat·Tömörség* szorzat az anyagsűrűségre vonatkoztatott hézagtérfogat.

$$Halmazporozitás = \frac{Anyagsűrűség - Halmazsűrűség}{Anyagsűrűség} =$$

$$= \frac{Anyagsűrűség - Testsűrűség}{Anyagsűrűség} + \frac{Testsűrűség - Halmazsűrűség}{Testsűrűség} \cdot \frac{Testsűrűség}{Anyagsűrűség} =$$

$$= \frac{Anyagsűrűség - Testsűrűség}{Anyagsűrűség} + \frac{Testsűrűség - Halmazsűrűség}{Anyagsűrűség} =$$

$$= \frac{Anyagsűrűség - Halmazsűrűség}{Anyagsűrűség} = \frac{\rho_A - \rho_H}{\rho_A} = 1 - \frac{V_A}{V_H} = 1 - t_{Abs\ halmaz} =$$

$$= 1 - Abszolut\ halmaztömörség$$

Halmaztömörség

$$Halmaztömörség = \frac{Halmazsűrűség}{Testsűrűség} = \frac{\rho_H}{\rho_T} = \frac{M / V_H}{M / V_T} =$$

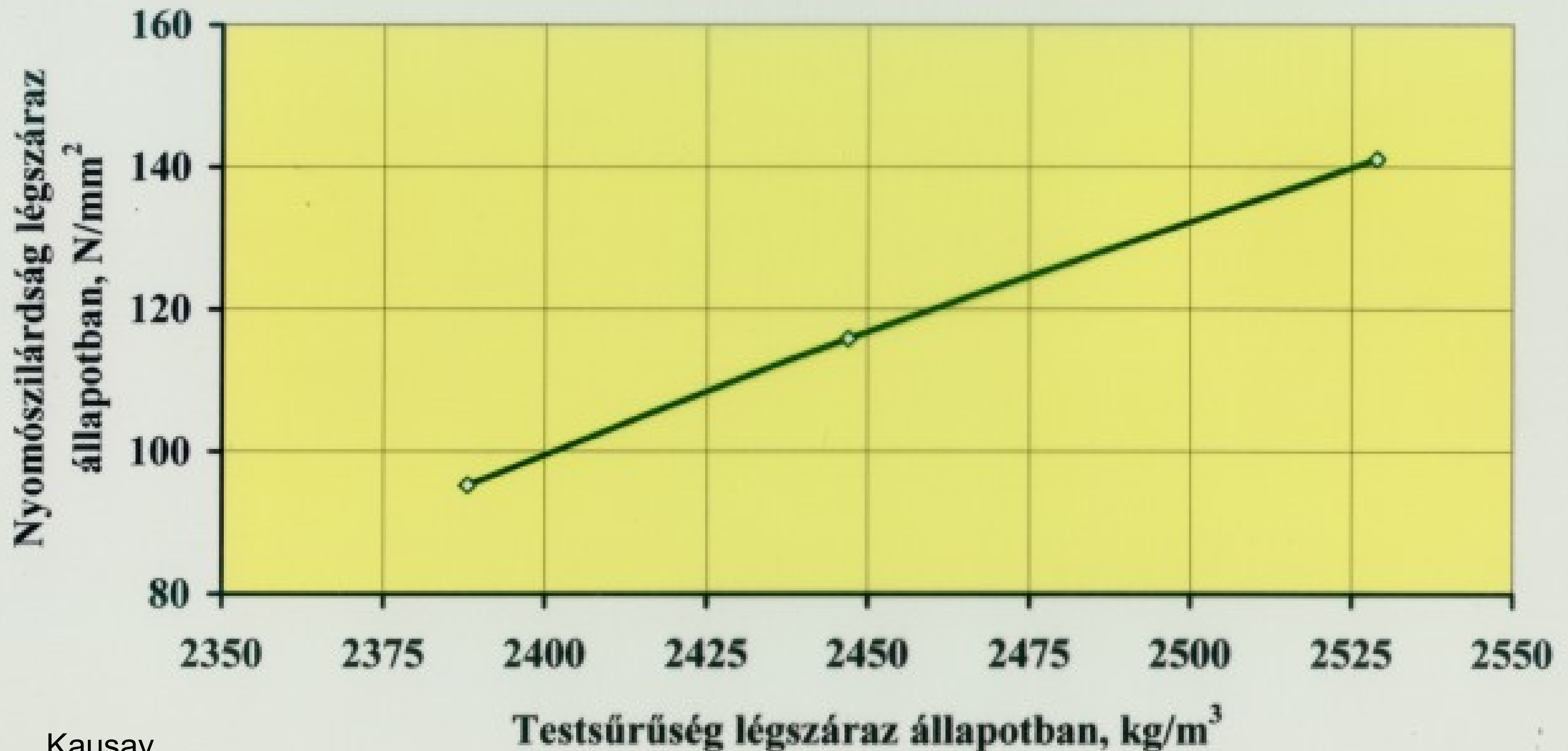
$$= \frac{V_T}{V_H} = t_{halmaz}$$

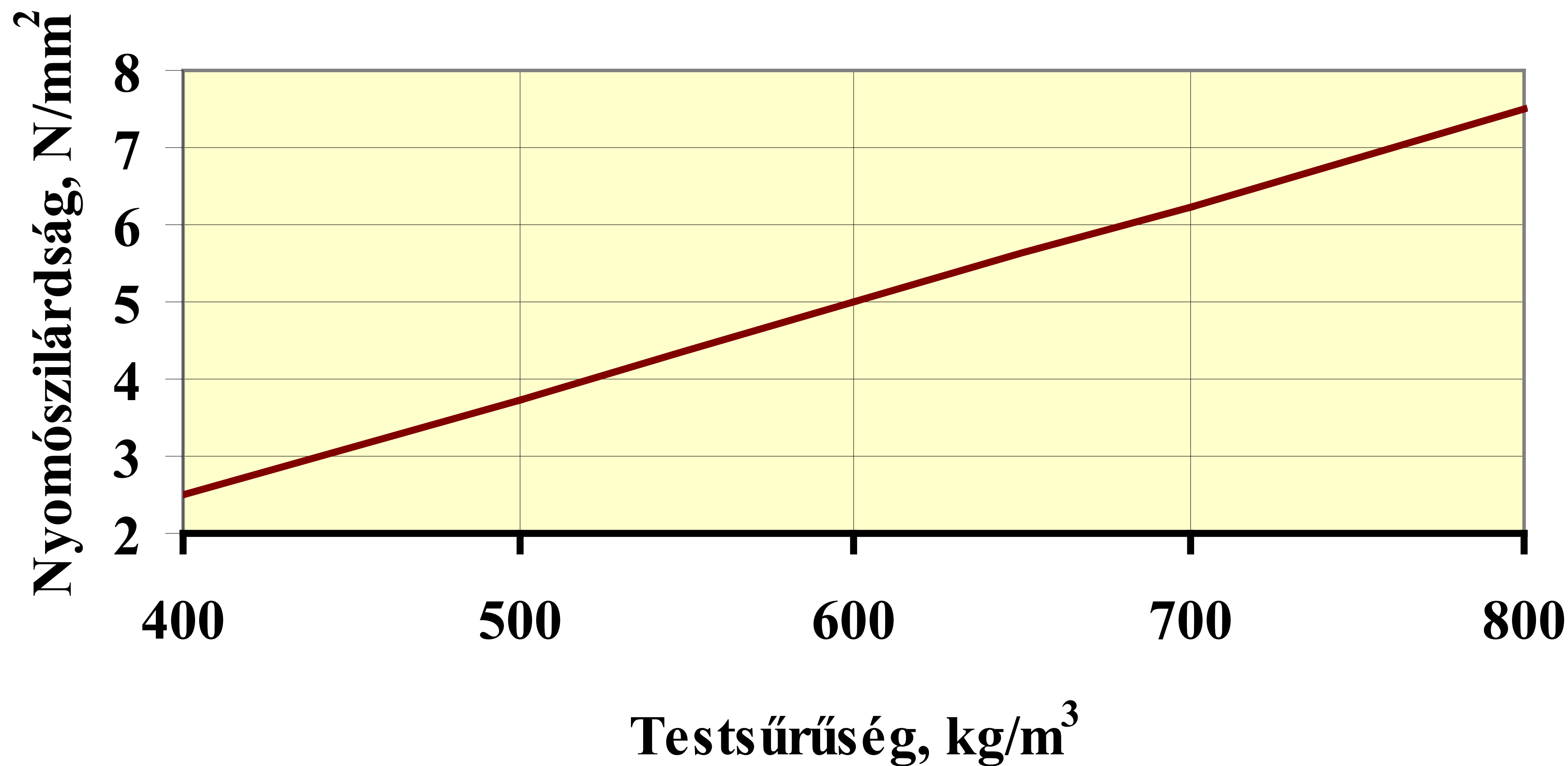
Hézagtérfogat = Szemcsék közötti hézagosság

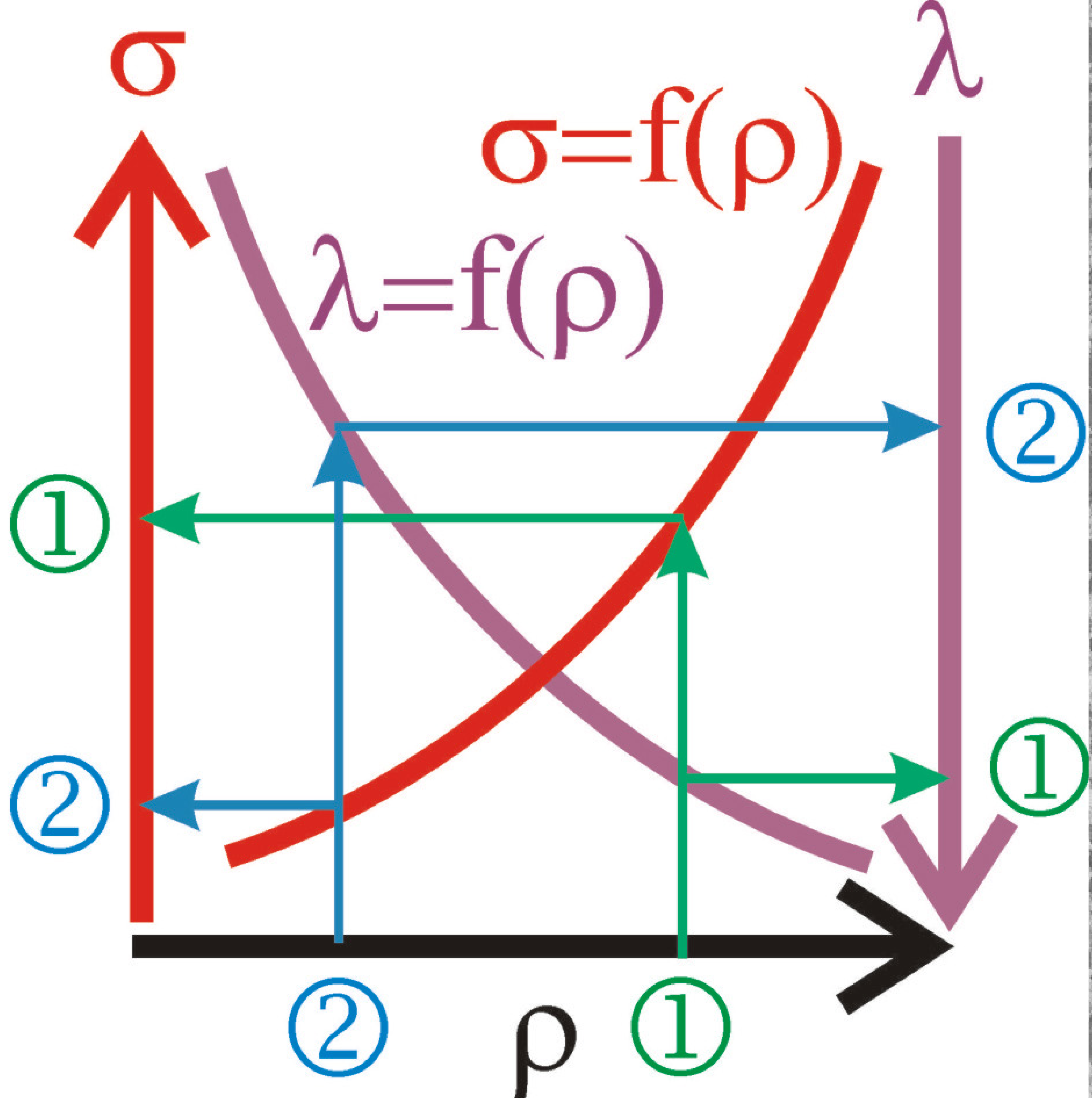
$$Hézagtérfogat = \frac{Testsűrűség - Halmazsűrűség}{Testsűrűség} = \frac{\rho_T - \rho_H}{\rho_T} =$$

$$= 1 - \frac{V_T}{V_H} = 1 - Halmaztömörség$$

Egy anyagon belül általában nagyobb testsűrűséghez nagyobb nyomószilárdság tartozik.




Gázbeton (pórusbeton) nyomószilárdsága a testsűrűség függvényében
Nyomószilárdság, N/mm2
8
7
6
5
4
3
2
400
500
600
700
800
Testsűrűség, kg/m3

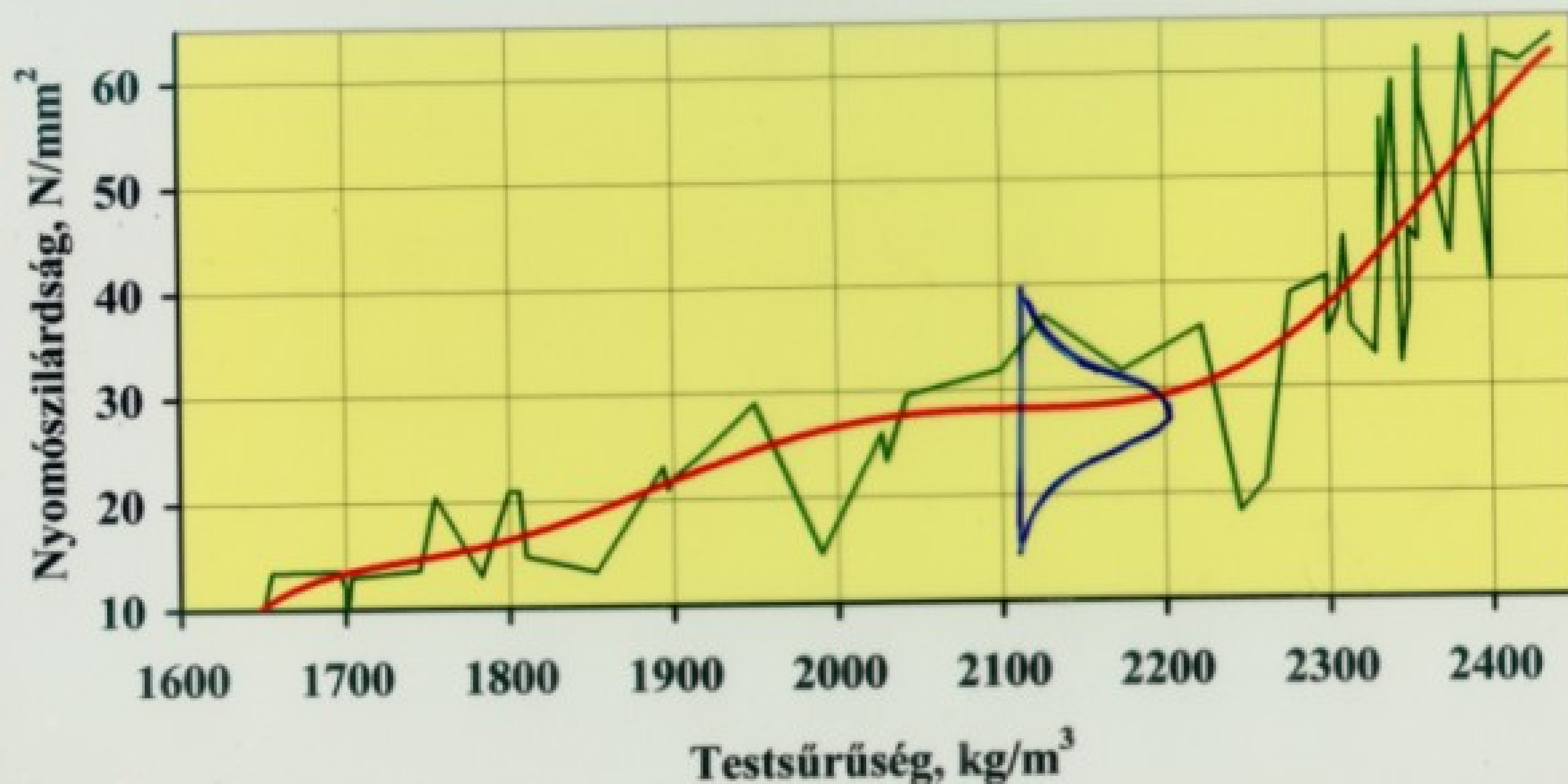

σ
λ
σ=f(ρ)
λ=f(ρ)
①
②
②
①
②
ρ
①

A beton legfontosabb tulajdonsága a szilárdság, ezért a szilárdságot befolyásoló tényezők vizsgálata mindig a figyelem középpontjában állt.

Megfigyelték, hogy a nagyobb testsűrűségű megszilárdult beton általában nagyobb szilárdsággal is rendelkezik.

Ezt mutatja be a $\sigma_{nyomószilárdság}=f(\rho_{testsűrűség})$ összefüggés: a testsűrűség növekedésének általában vonzata a nyomószilárdság növekedés, miközben a trendvonal körüli ingadozások, szórások jelentősek.

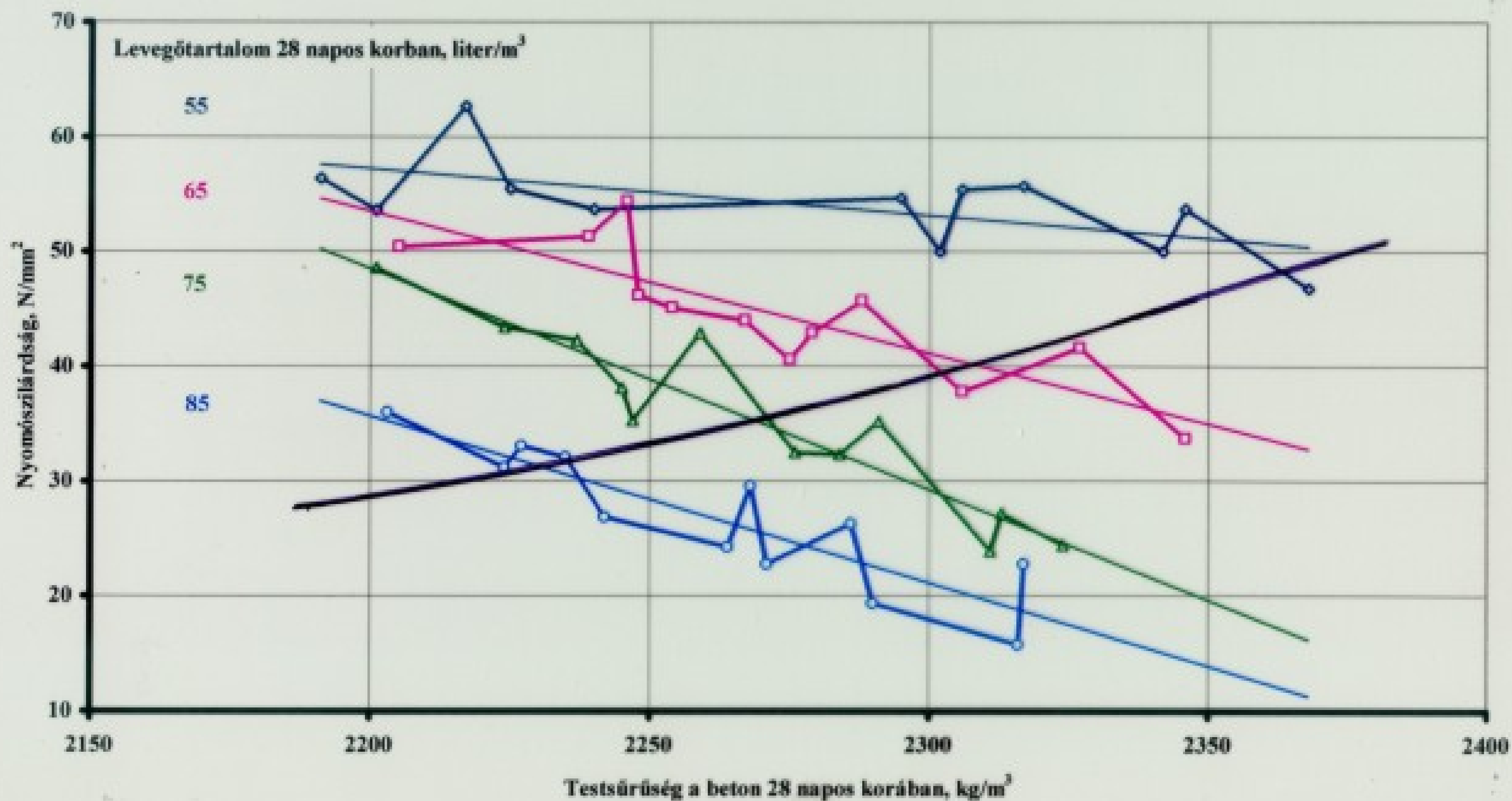
Hallgatólagosan azt is feltételezzük, hogy a testsűrűség növekedése a beton tömörsége növekedésének, pórus- illetve levegőtartalma csökkenésének következménye.


A 28 napos beton nyomószilárdsága a testsűrűség függvényében
(55 adat alapján)
Nyomószilárdság, N/mm²
10
20
30
40
50
60
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
Testsűrűség, kg/m³

Kausay

Ha a következő ábrán a beton kísérleti eredményeket a levegőtartalom szerint rendezzük, természetes, hogy a levegőtartalom növekedésével a nyomószilárdság csökken.

A $\sigma_{nyomószilárdság}=f(\rho_{testsűrűség}, l_{levegőtartalom})$ összefüggés ábráján belátható, hogy a testsűrűség növekedése a nyomószilárdság növekedésével és a beton levegőtartalmának csökkenésével jár, mint azt az oda fekete vonallal berajzolt $\sigma_{nyomószilárdság}=f(\rho_{testsűrűség})$ görbe szemlélteti.


Példa a beton nyomószilárdságára
a testsűrűség és a levegőtartalom függvényében
Levegőtartalom 28 napos korban, liter/m³
55
65
75
85
Nyomószilárdság, N/mm²
70
60
50
40
30
20
10
2150
2200
2250
2300
2350
2400
Testsűrűség a beton 28 napos korában, kg/m³

Az ábrából az is kiolvasható, hogy azonos vagy csak kissé csökkenő levegőtartalom mellett hiába növekszik a testsűrűség, azt olyan körülmény okozza, hogy a szilárdság csökkenni, jobb esetben stagnálni fog.

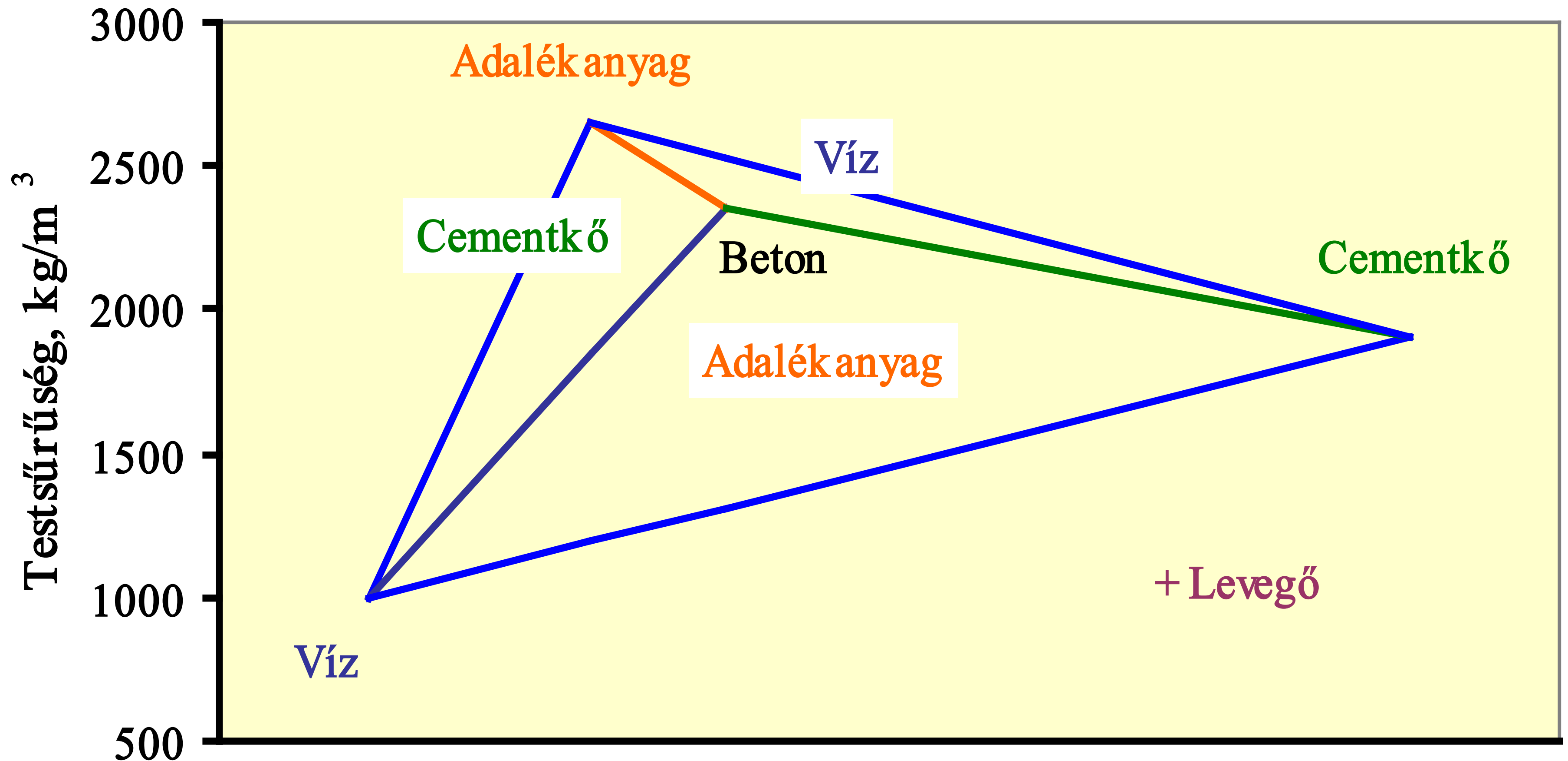
Ennek az a magyarázata, hogy a pórustartalom csökkenés nélküli testsűrűség növekedés a kisebb cementtartalom, kisebb cementpép-, cementkő-tartalom következménye, ami a szilárdság alakulására kedvezőtlenül hat.

Ennek hátterében az áll, hogy amíg az adalékanyag testsűrűsége 2450 - 2850, átlagban 2650 kg/m^3, addig a cementkő testsűrűsége csak mintegy 1900 kg/m^3. *Powers* szerint ugyanis a cementkő porozitása a hidratáció kezdeti és végső állapotában például x = 0,35 értékű víz-cementtényező esetén 0,52 - 0,30 vagy például x = 0,60 értékű víz-cementtényező esetén 0,65 - 0,49.

Ez azt jelenti, hogy ha változatlan beton pórustartalom mellett a cementkő:adalékanyag arányt csökkentjük, akkor a beton testsűrűsége növekedni fog.

A beton voltaképpen egy négyfázisú, heterogén, durva diszperz rendszer, amely friss állapotában inkoherens, durva szuszpenzió (szilárd részek folyékony közegben), megszilárdult állapotában pedig koherens, kvázi-viszkózus fázissal (cementkő) és rugalmas fázissal (adalékanyag) rendelkező viszkóelasztikus anyag.

A beton fázisdiagramja



Fázisok

Beton = Adalékanyag + Cementkő + Víz (a cementkő kapilláris vize és a szabad víz) + Levegő

Kausay

A beton tulajdonságait befolyásoló tényezők

Összetétel						
minőség	**←**	**Adalékanyag**		**→**	**mennyiség**	
minőség	**←**	**Cement**		**→**	**mennyiség**	Cementkő
		Víz	**kötött**	**→**	**mennyiség**	
			kötetlen			
minőség	**←**	**Adalékszer**		**→**	**mennyiség**	
eloszlás	**←**	**Levegő**		**→**	**mennyiség**	

Struktúra

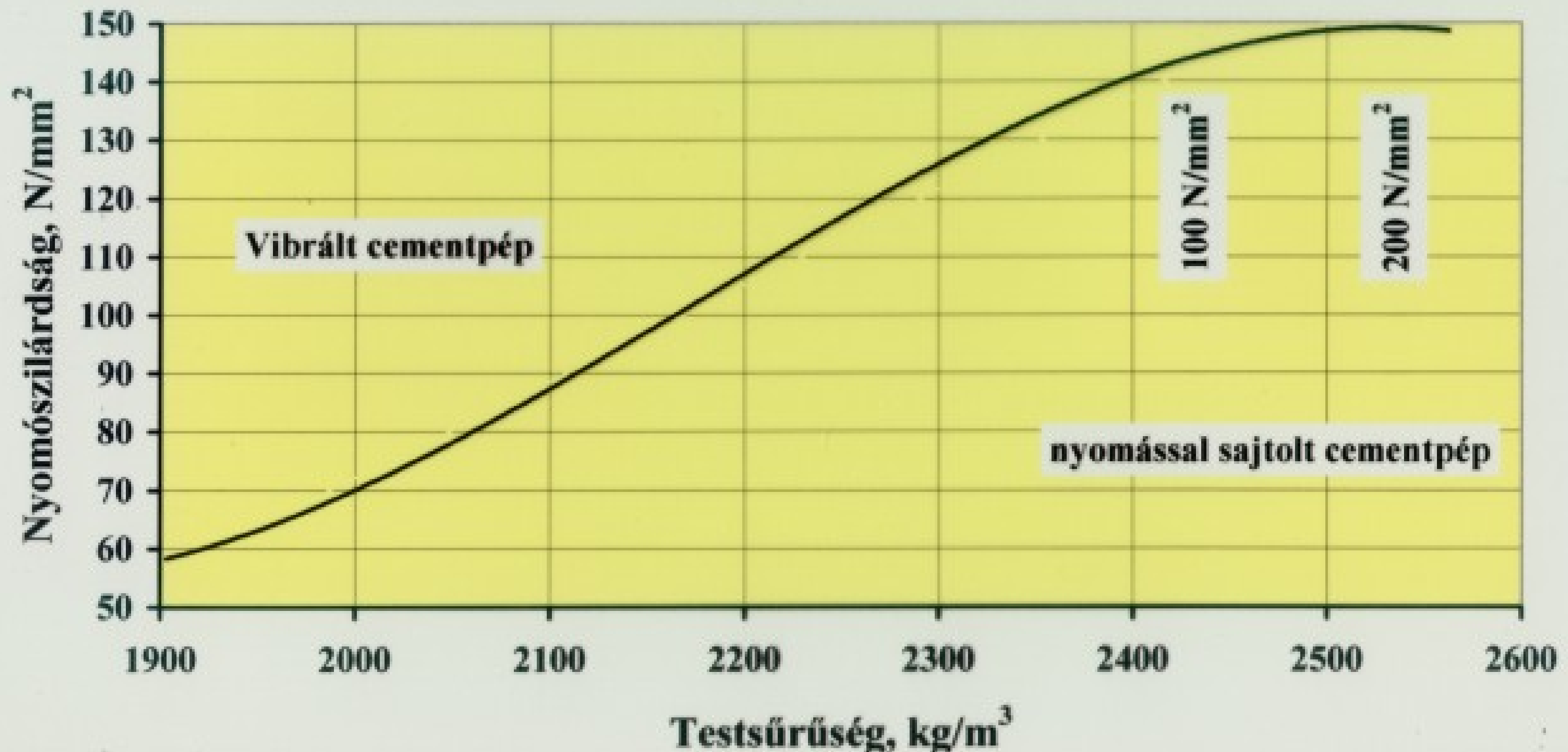
tömörség, homogenitás, hidratációs fok, felületi kötés, póruseloszlás és jelleg

Beton kora

száradás, szilárdulás, spontán alakváltozás

Környezeti hatások

klimatikus körülmények, kémiai és mechanikai terhelés


A 28 napos korú cementkő nyomószilárdsága a testsűrűség függvényében. A próbatest mérete: ϕ 25*25 mm
Nyomószilárdság, N/mm²
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
Testsűrűség, kg/m³
Vibrált cementpép
100 N/mm²
200 N/mm²
nyomással sajtolt cementpép

A beton tömörsége és levegőtartalma a cementkő (megszilárdult cementpép) tömörítettségétől függ, ami kihat a cementkő testsűrűségére és nyomószilárdságára, továbbá a beton ugyanezen jellemzőire.

A vibrálással tömörített cementkő testsűrűsége tehát csak mintegy 1900 kg/m^3, szemben a homokos kavics adalékanyag átlagos 2650 kg/m^3 értékű testsűrűségével, és porozitásuk hozzávetőlegesen úgy viszonylik egymáshoz, mint 0,38:0,15.

Ezért mondhatjuk, hogy a beton testsűrűségét a cementkő:adalékanyag tömegarány is befolyásolja.

Következtetés:

Ha változatlan beton pórustartalom mellett a cementpép:adalékanyag, illetve cementkő:adalékanyag arányt növeljük, akkor a beton testsűrűsége csökkenni fog, de a beton testsűrűségében változás állhat be akkor is, ha például az adalékanyag testsűrűsége változik meg.

Ezért a környezeti osztályok feltételeinek ellenőrzése során nem az ott előírt legkisebb beton testsűrűséget kell alapul venni, hanem a beton összetételéből (beleértve a tervezett levegőtartalmat is) ki kell számítani a friss beton tervezett testsűrűségét, és a friss beton bedolgozása akkor megfelelő, ha a friss beton „tapasztalati" testsűrűsége próbatesten mérve a tervezett értéknél legfeljebb 2 százalékkal kisebb. (Ez ≤ 20 liter/m^3 levegőtartalomnak felel meg, ami rendkívül nagy érték.)

A 28 napos korú, szilárd, (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított beton várható testsűrűségét viszonylag jó közelítéssel a cement tömegére vetített 30 tömegszázalék el nem párologtatható víz, azaz (v/c - 0,3)·c liter/m^3 elpárolgó keverővíz feltételezésével lehet kiszámítani.

Példa a cementtartalom változásának a beton testsűrűségére tett hatására

$x =$ 0,55		$\rho_C =$ 3100		$\rho_A =$ 2640		$\rho_{cem.\text{-}pép} =$ 1776	
1. példa	kg/m³		m³/m³	2. példa	kg/m³		m³/m³
$M_C =$	280	$V_C =$	0,090	$M_C =$	310	$V_C =$	0,100
$M_V =$	154	$V_V =$	0,154	$M_V =$	171	$V_V =$	0,171
$M_A =$	1942	$V_A =$	0,736	$M_A =$	1873	$V_A =$	0,710
		$V_L =$	0,020			$V_L =$	0,020
Összesen:	2376		1,000	Összesen:	2354		1,000
Pórusmentes beton testsűrűsége, kg/m³							
2376 / 0,98 =	2425			2354 / 0,98 =	2402		
A szilárd, kiszárított állapotú beton várható testsűrűsége, kg/m³							
	2306	$= \rho_{friss\ beton} - (x-0,3) \cdot M_C =$			2276		

feltéve, hogy a cementkőbe a cement mintegy 30 tömeg%-át kitevő víz épül be.

Az építési célnak — beleértve a tartósságot is — csak a kellően bedolgozott, megkövetelt tömörségű, zárványmentes beton felel meg, ezért a bedolgozott friss beton levegőtartalmát korlátozni kell. Magyarországon a friss beton bennmaradt levegőtartalmának (a levegőzárványoknak) ajánlott tervezési értéke a következő:

Beton		A friss beton ajánlott levegőtartalma
Általában		legfeljebb 2,0 térf.%
Vízzáró beton		legfeljebb 1,0 térf.%
Kopásálló zúzottkőbeton		legfeljebb 3,0 térf.%
Légbuborékképző adalékszer nélküli fagyálló beton	XF1|	legfeljebb 2,0 térf.%
	XF2(BV-MI) |$_{+Cl}$ és XF3(BV-MI) _	legfeljebb 1,5 térf.%
Légbuborékképző adalékszerrel készített fagyálló beton, XF2 |$_{+Cl}$, XF3 _, XF4 _ $_{+Cl}$		bevitt levegőtartalom legalább 4,0 térf.%; azaz összesen: (4,0 – 6,0) térf.%
Bontott adalékanyagú újrahasznosított beton, általában		0,5 térfogat%-kal több, mint kavicsbeton esetén

100 év használati élettartamú

(pl. hídszerkezeti, vízépítési)

betonok esetén a friss, bedolgozott beton

bennmaradt levegőtartalma

ne legyen nagyobb, mint

általában 2,0 térfogat%;

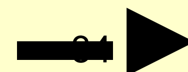
vasbeton szerkezet esetén 1,5 térfogat%;

feszített vasbeton szerkezet esetén

1,0 térfogat%;

vízzáró beton esetén 1,0 térfogat%;

kopásálló zúzottkőbeton esetén 2,0 térfogat%



légbuborékképző adalékszer nélkül készített fagyálló, függőleges felületű beton

(XF1 |)esetén, 1,5 térfogat%;

légbuborékképző adalékszer nélkül készített fagyálló, vízszintes felületű beton

(XF3(BV-MI) _) esetén, 1,0 térfogat%;

légbuborékképző adalékszer nélkül készített fagy- és olvasztósó-álló, függőleges felületű beton

(XF2(BV-MI) $|_{+Cl}$) esetén, 1,0 térfogat%

A friss beton testsűrűségének tervezése a tervezett levegőtartalom figyelembevételével:

$$\rho_{friss\ beton} = M_C + x \cdot M_C + \rho_A \cdot \left(1 - \frac{M_C}{\rho_C} - \frac{M_V}{1000} - \frac{V_L^{\%}}{100}\right) \qquad [kg/m^3]$$

ahol az adalékanyag térfogata:

$$V_A = 1 - \frac{M_C}{\rho_C} - \frac{x \cdot M_C}{1000} - \frac{V_L^{\%}}{100} \qquad [m^3/m^3]$$

és az adalékanyag keverék súlyozott testsűrűsége:

$$\rho_A = \frac{1}{\left(\frac{\alpha}{\rho_\alpha} + \frac{\beta}{\rho_\beta} + \frac{\gamma}{\rho_\gamma} + \ldots\right)} \qquad [kg/m^3]$$

A friss beton pórusmentes cementpépjének testsűrűsége a víz-cement tényező és a cement anyagsűrűségének függvénye:

$$\rho_{cementpép} = \frac{M_C + M_V}{V_C + V_V} = \frac{1 + x}{\dfrac{1}{\rho_C} + \dfrac{x}{1000}} \qquad [kg/m^3]$$

A pórusmentes beton testsűrűsége:

$$\rho_{pórusmentes\ \ friss\ beton} = \frac{\rho_{friss\ beton}}{1 - \dfrac{V_L^{\%}}{100}} = \frac{M_{cementpép} + M_A}{\dfrac{M_{cementpép}}{\rho_{cementpép}} + \dfrac{M_A}{\rho_A}} \qquad [kg/m^3]$$

Törés vizesen $f_{ck,cube}$



A szilárd beton testsűrűségét kiszárított állapotban az MSZ EN 12390-7:2001 szerint, – de (60 ± 5) °C hőmérsékleten szárítva, – kell megmérni.

1. Ha a testsűrűség mérést a végig víz alatt tárolt, tehát vizes nyomószilárdság vizsgálati próbatesteken végezzük (ρ_{vizes}), akkor a nyomószilárdság vizsgálat után visszamaradó – legalább 200 cm^3 térfogatú, – *betondarabon* meg kell a víztartalmat állapítani (*n*), és ennek alapján kell a kiszárított állapotban értelmezett testsűrűséget kiszámítani:

Kausay

Törés vizesen $f_{ck,cube}$

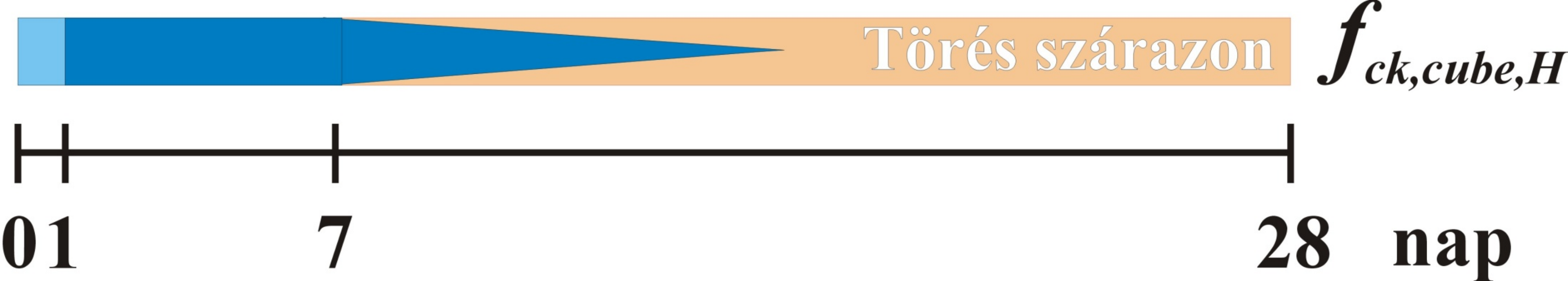


$$\rho_{kiszárított} = \frac{\rho_{vizes}}{1+n}$$

ahol: $\rho_{kiszárított}$ *és* ρ_{vizes} testsűrűség mértékegysége: kg/m^3

n = 1-nél kisebb nevezetlen szám

2. Másik lehetőség, hogy végig víz alatt tárolt próbatestek esetén a testsűrűséget külön e célra készített és (60 ± 5) °C (nem 105-110 °C!) hőmérsékleten tömegállandóságig szárított *próbatesten* határozzuk meg.



A <u>vegyesen tárolt, szilárd közönséges beton és nehézbeton</u> próbatestek testsűrűségét szilárdságvizsgálat előtt, a légszáraz állapotú *próbatesten* kell megmérni.

A <u>vegyesen tárolt, szilárd könnyűbeton</u> próbatestek testsűrűségét (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított, legalább 300 g tömegű *próbadarabon* kell meghatározni.

Kausay

MSZ 4798-1:2004

3.1.7. Közönséges beton („normál" beton)

Kiszárított állapotában 2000 kg/m^3-nél nagyobb, de legfeljebb 2600 kg/m^3 *(értékre tervezett)* testsűrűségű, *szilárd* beton.

Ha nincs külön megadva, akkor a szilárd beton testsűrűsége a beton 28 napos korára értendő, egyéb esetben pedig a kort meg kell adni. Kiegészítésképp közölni kell, hogy a testsűrűséget a beton légszáraz, (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított, vagy vízzel telített állapotában mérték-e .

MSZ 4798-1:2004

3.1.9. Nehézbeton

Kiszárított állapotában 2600 kg/m^3-nél nagyobb testsűrűségű beton.

A kiszárítást (60 ± 5) °C hőmérsékleten, tömegállandóságig kell végezni.

Ha nincs külön megadva, akkor a testsűrűség a nehézbeton 28 napos korára értendő.

MSZ 4798-1:2004

3.1.8. Könnyűbeton

Kiszárított állapotában legalább 800 kg/m^3 és legfeljebb 2000 kg/m^3 *(értékre tervezett)* testsűrűségű, *szilárd* beton. Ezt teljesen vagy rész-ben könnyű adalékanyagok felhasználásával készítik.

Ha nincs külön megadva, akkor a szilárd könnyűbeton testsűrűsége a könnyűbeton 28 napos korára értendő, egyéb esetben pedig a kort meg kell adni. Kiegészítésképp közölni kell, hogy a testsűrűséget a könnyűbeton légszáraz, (60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított, vagy vízzel telített állapotában mérték-e .

MSZ 4798-1:2004 szabvány 4.3.2. Testsűrűségi osztályok könnyűbetonokra

9. táblázat: Könnyűbetonok osztályozása a testsűrűség szerint

Testsűrségi osztály	D 1,0 ρ_{LC} *1,0*	D 1,2 ρ_{LC} *1,2*	D 1,4 ρ_{LC} *1,4*	D 1,6 ρ_{LC} *1,6*	D 1,8 ρ_{LC} *1,8*	D 2,0 ρ_{LC} *2,0*
A testsűrűség, kg/m^3	≥ 800 és ≤ 1000	> 1000 és ≤ 1200	> 1200 és ≤ 1400	>1400 és ≤ 1600	> 1600 és ≤ 1800	> 1800 és ≤ 2000

MEGJEGYZÉS: A könnyűbeton testsűrűségét tervezett értékkel is elő szabad írni.

NAD 4.6. MEGJEGYZÉS:

A 9. táblázat a szilárd könnyűbetonok testsűrűségi követelményeit adja meg.

A szilárd beton testsűrűségét legalább 28 napos korban, (60 ± 5) ℃ hőmérsékleten tömegállandóságig szárított próbadarabokon kell mérni.

Tömegállandó a próbadarab akkor, ha a két legutolsó tömegmérés közötti különbség az utóbbinak ≤ 0,1 %-a.

NAD 4.7. MEGJEGYZÉS:

Magyarországon a szilárd könnyűbeton testsűrűségét ρLC jellel kell jelölni.

Teherbíró könnyűbetonok

Hőszigetelő könnyűbetonok

MSZ EN 206-1:2002 szerinti adalékanyagos, teherbíró könnyűbetonok

Testsűrűség kg/m³	Nyomószilárdság, N/mm²: < 2,5	2,5 - 5,0	5,0 - 7,5	7,5 - 10	10 - 15	15 <	Hővezetési tényező W/mK
< 200	Polisztirol-gyöngy beton						< 0,06
200 - 300	Duzzasztott perlit beton						0,06 - 0,09
300 - 400	Habbeton						0,09 -0,12
400 - 600	Fa-beton	Gázbeton (pórusbeton)					0,12 - 0,18
600 - 800		Gázbeton (pórusbeton)		*	*	*	0,18 - 0,25
800 - 1100			Kohóhabsalak beton és granulált kohósalak beton				0,25 - 0,38
1100 - 1400		Egyszemcsés, nagy-hézagtérfogatú könnyűbeton				Kohóhabsalak beton és granulált kohósalak beton	0,38 - 0,50
1400 - 1600			Tufabeton és duzzasztott üvegkavics beton			Duzzasztott agyagkavics beton	0,50 - 0,60
1600 - 1800			Tufabeton és duzzasztott üvegkavics beton			Duzzasztott agyagkavics beton	0,60 - 0,70
1800 - 2000					Zúzott tégla beton		0,70 -0,80

Sorcsoportok: *Hőszigetelő könnyűbetonok* (< 200 – 400 - 600); *Teherbíró könnyűbetonok*; *MSZ EN 206-1:2002 szerinti adalékanyagos, teherbíró könnyűbetonok* (800 - 1100 – 1800 - 2000)

Megjegyzés: *Az MSZ 4719:1982 szabvány a 600 - 2000 kg/m³ testsűrűségű adalékanyagos betonokat tekinti teherbíró könnyűbetonnak.

** A könnyűbetonok testsűrűsége, nyomószilárdsága, hővezetési tényezője jelentős mértékben eltérhet a táblázatban szereplő értékektől.

MSZ 4798-1:2004

3.1.25. Közönséges adalékanyag

Kiszárított állapotában > 2000 kg/m^3 és < 3000 kg/m^3 szemtestsűrűségű adalékanyag, az *MSZ* EN 1097-6 szerint, – (105 ± 5) °C hőmérsékleten kiszárítva, – meghatározva

3.1.27. Nehéz adalékanyag

Adalékanyag, amelynek az *MSZ* EN 1097-6 szerint, – (105 ± 5) °C hőmérsékleten kiszárítva, – megállapított szemtestsűrűsége ≥ 3000 kg/m^3.

MSZ 4798-1:2004

3.1.26. Könnyű adalékanyag

Ásványi eredetű adalékanyag, amelynek kiszárított állapotában

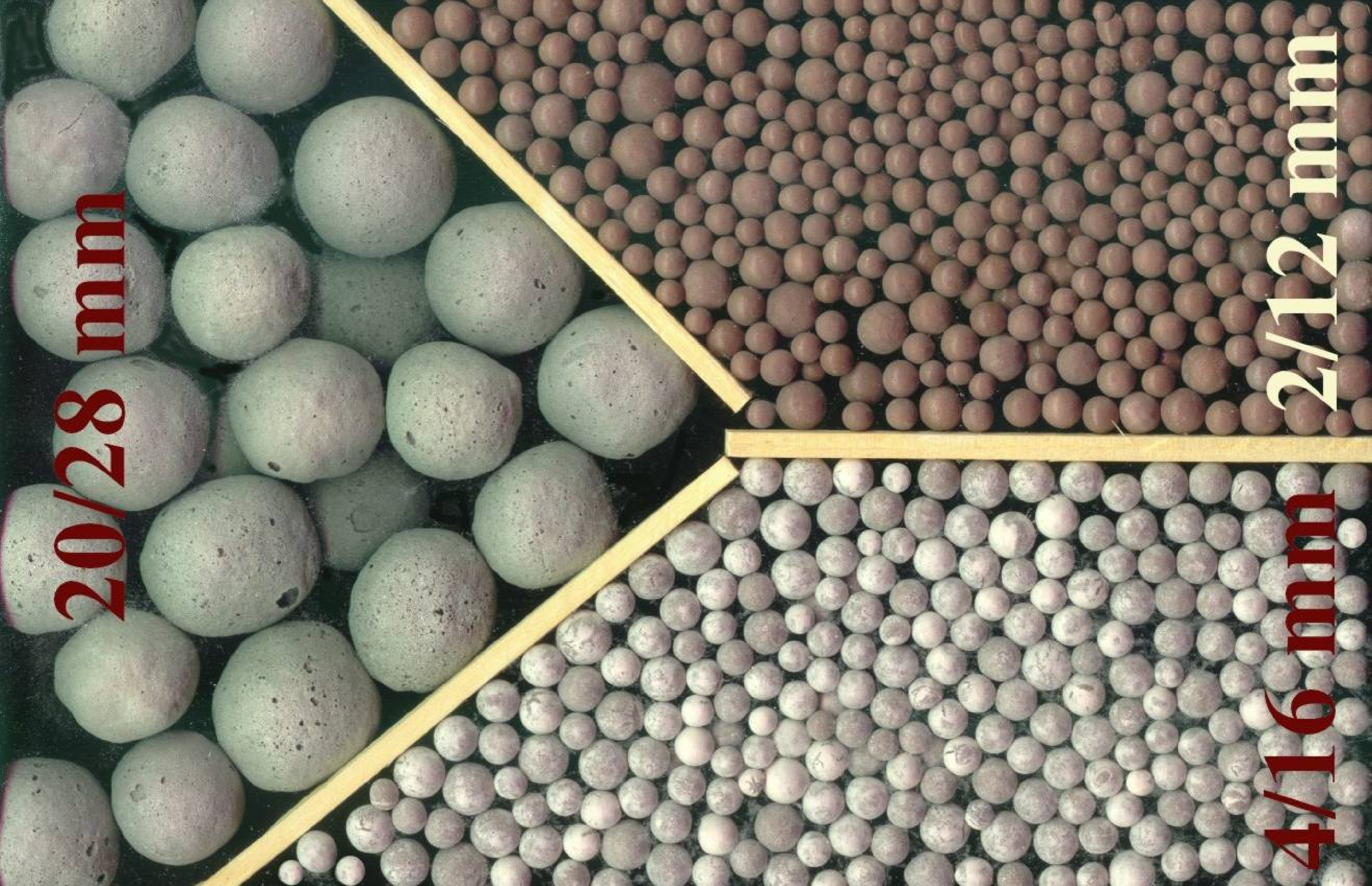
az *MSZ* EN 1097-6 szerint, – (105 ± 5) °C hőmérsékleten kiszárítva, – megállapított *szemtestsűrűsége ≤ 2000 kg/m³*,

vagy kiszárított állapotában az MSZ EN 1097-3 szerint, – (105 ± 5) °C hőmérsékleten kiszárítva, – meghatározott *laza halmazsűrűsége ≤1200 kg/m³*

	Tufa	Duzzasztott agyagkavics	Duzzasztott perlit	Zúzott tégla	Duzzasztott üvegkavics
Anyagsűrűség, kg/m^3	**2500-2800**	**2500-2600**			**2050-2450**
Testsűrűség, kg/m^3	**1200 - 2500**	**650-1600**		**1950-2150**	**300-1450**
Halmazsűrűség, kg/m^3		**300-800**	**50-180**	**980-1250**	**180-900**
Porozitás, térfogat%	**15-50**	**45-75**			**35-85**
Vízfelvétel, tömeg%	**2-25**	**20-50**		**15-25**	**1-60**
Nyomószilárdság, önszilárdság	**6-80 N/mm^2 (Nyomószilárdság szabályos alakú próbatesten mérve)**	**1,5-10,5 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)**		**Hummel-féle szétmorzsolódási tényező: 1,2-2,8 A 20 mm-es összenyomódás-hoz tartozó önszilárdság: 1,5-4,5 N/mm^2**	**0,5-13,0 N/mm^2 (20 mm-es össze-nyomódáshoz tartozó önszilárdság)**
Könnyűbeton testsűrűsége, kg/m^3	**1300-2250**	**800-1800**	**200-750**	**1800-1900**	**600-1800**
Könnyűbeton nyomó-szilárdsága, N/mm^2	**5-40**	**8-45**	**0,2-3,5**	**12-25**	**2-45**



Duzzasztott agyagkavics, szemnagyság: 6/10 mm



Duzzasztott üvegkavics



Duzzasztott perlit, szemnagyság: 0/2 mm

Szó esett arról, hogy az *MSZ 4798-1:2004* szerint *a szilárd beton testsűrűségét (+ 60 ± 5) °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárított állapotú próbadarabokon kell mérni.* Ugyanakkor:

- **az MSZ EN 206-1:2002 szabvány nem adja meg a kiszárítás hőmérsékletét;**
- **a többi európai szabványban a szárítás ma is általában (110 ± 5) °C hőmérsékleten történik;**
- **a korábbi nemzeti szabványaink is a (105-110) °C (pl. MSZ 4715-2:1972; MSZ 4715-3:1972), vagy a (105 ± 5) °C (pl. MSZ 18284-2:1979) hőmérsékleten való szárítást írták elő.**

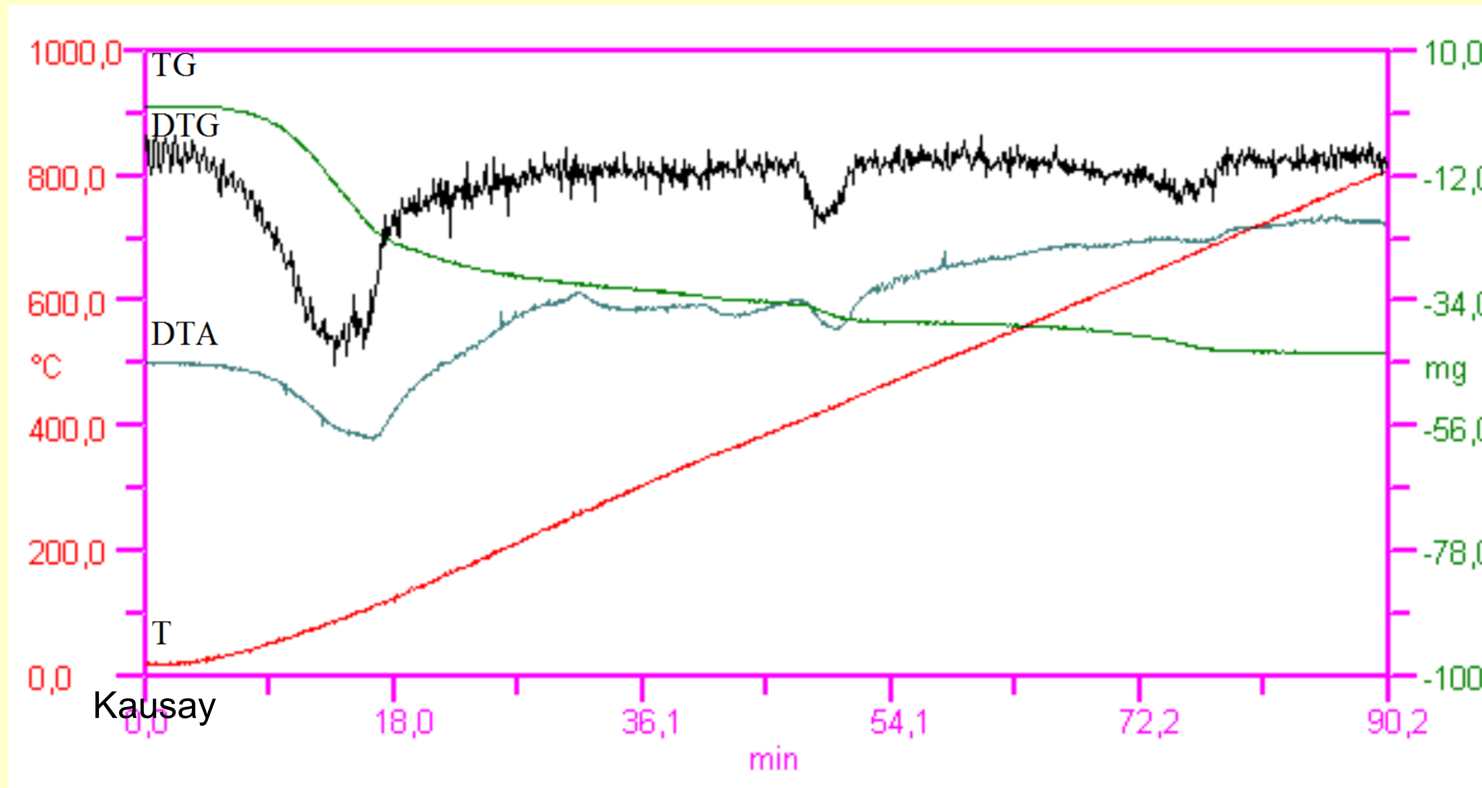
Mi lehet az új magyar betonszabványban a szárítási hőmérséklet megváltoztatásának a magyarázata?

DERIVATOGRÁFOS VIZSGÁLATOK

Források:

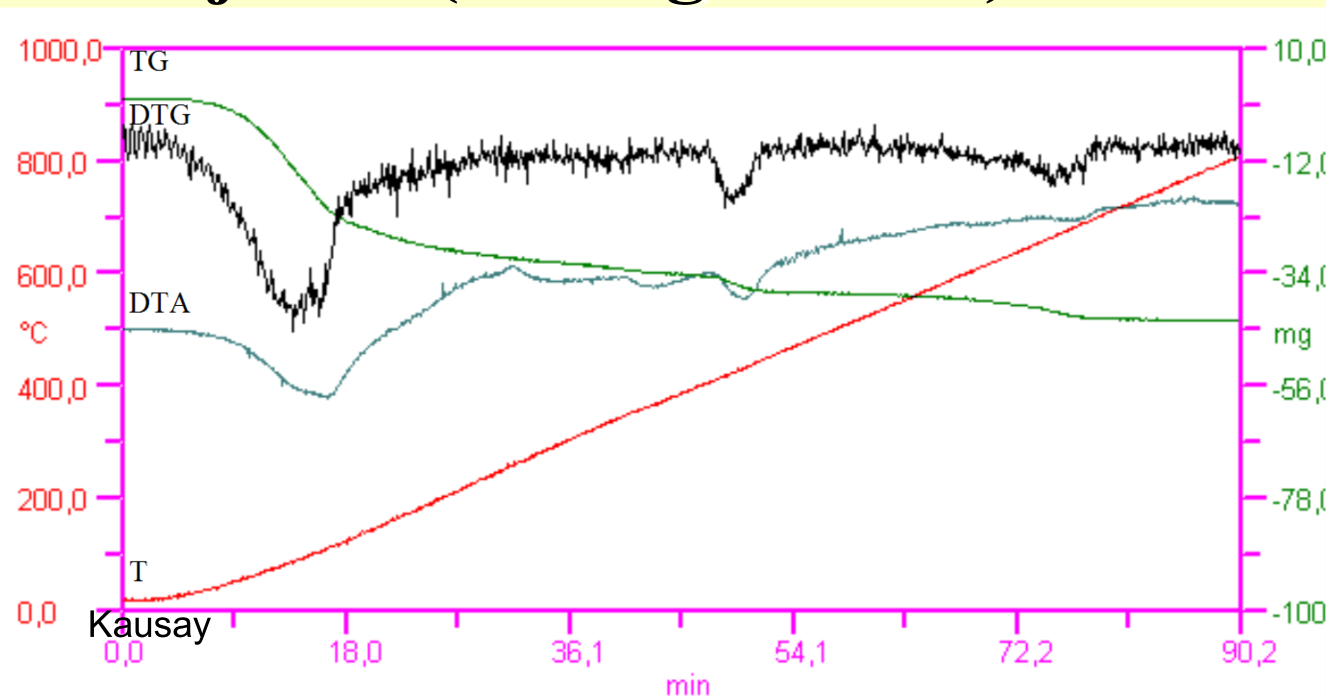
- Cementipari Kézikönyv. Szerkesztette: Dr. Talabér József. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- Szilikátipari laboratóriumi vizsgálatok. Szerkesztettte: Dr. Tamás Ferenc. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- Riesz Lajos: Cement és mészgyártási kézikönyv. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest, 1989.
- Dr. Kertész Pál – Dr. Marek István – Dr. Gálos Miklós – Dr. Kausay Tibor: BME – SZIKKTI 3-44-III/79 sz. kutatási jelentés a zúzottkő beton-adalékanyagokról, 1983.
- Kocsányiné Dr. Kopecskó Katalin közleménye, 2006.

A vizsgálat lényege, hogy az előkészített mintát folyamatosan hevítik 1000 °C fölé, közben mérik a hőmérsékletet az idő függvényében (T görbe), és felveszik a tömegváltozást (TG görbe); továbbá ―►



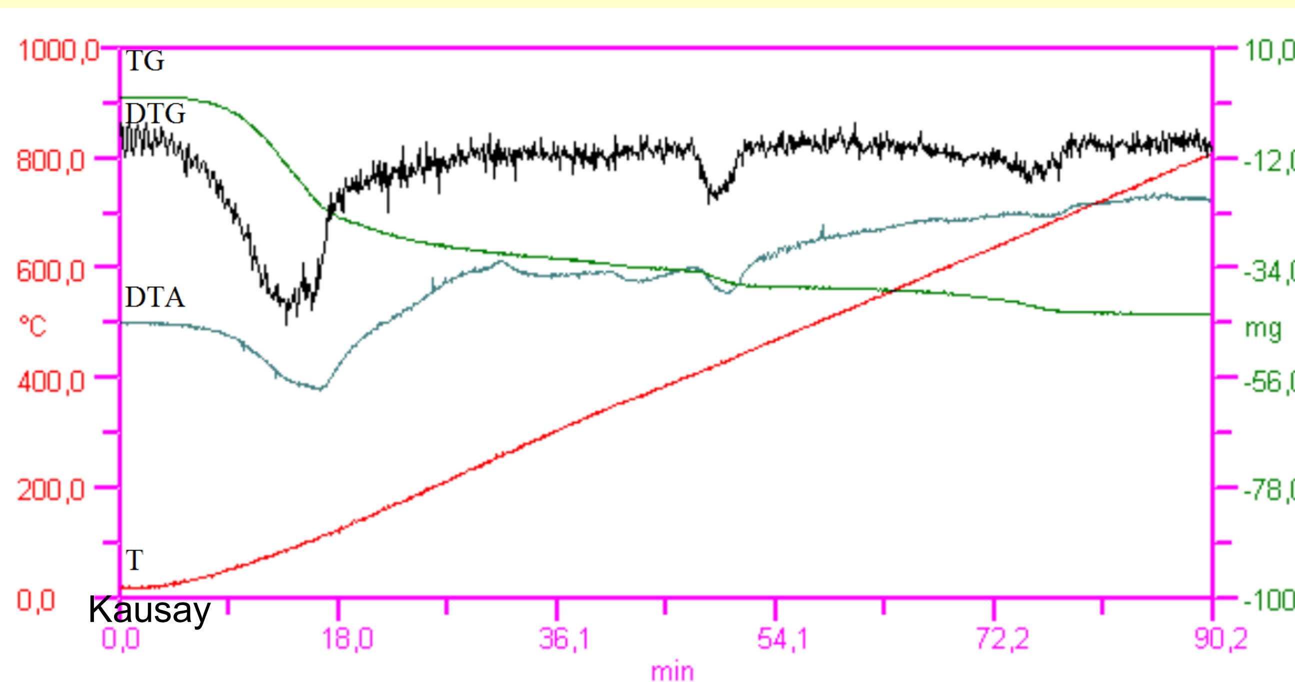
Inverz (csökkenő) ordináta skála !

a tömegváltozás sebességét, azaz a **TG görbe** érintőjét (azaz differenciál-görbéjét = DTG görbe ♒). Ha a tömegváltozás (vesztés) sebessége növekszik, akkor a TG görbe érintője (DTG görbe ♒) emelkedik, ha a sebesség- növekedés megáll, akkor a **TG görbének** infelxiós pontja és érintőjének (DTG görbe ♒) szélsőértéke van; —►



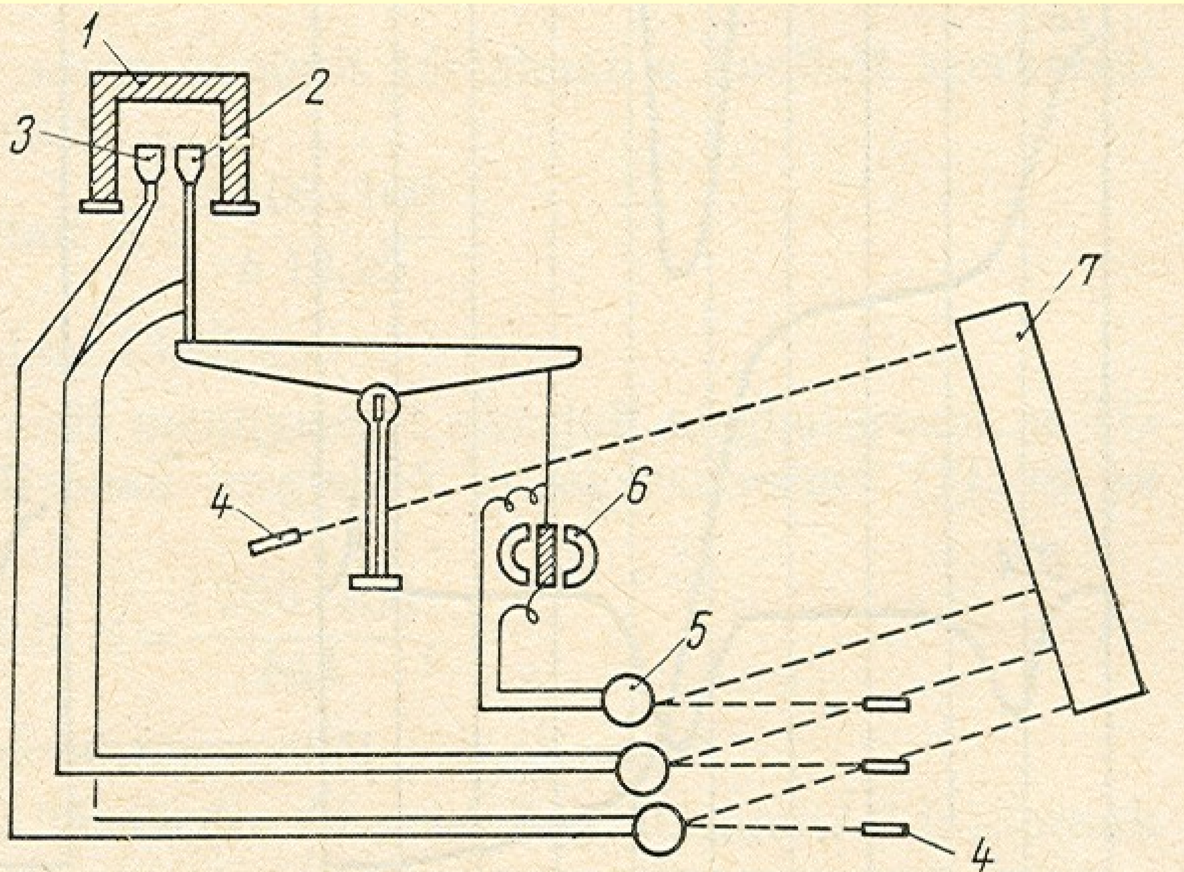
Inverz (csökkenő) ordináta skála !

Az anyaggal közölt hőenergia nem csak szélső esetben halmazállapot változást, hanem az anyag szilárd állapotában kristályfázis átalakulásokat is okoz. Ha hevítés közben a vizsgálandó anyagminta – és összehasonlásképpen sem hőelnyelést, sem hőfejlesztést nem mutató inert anyag – hőmérsékletét, akkor megszerkeszthető a **DTA görbe**.



A lefele irányuló csúcs endoterm (hőelnyelő), a felfelé irányuló exoterm (hőfejlesztő) folyamatot jelez.

A *Paulik Ferenc – Paulik Jenő – Erdey László* rendszerű derivatográf egyidejűleg mind a négy görbe automatikus felvételére alkalmas.



12.25. *ábra.* Derivatográf kapcsolási vázlata

1 kemence, *2* mintatartó tégely, *3* inert anyag tégelye, *4* megvilágító lámpák, *5* galvanométerek, *6* mágnes, *7* forgódob a fényérzékeny papírral (Tamás Ferenc, 1970.)

Dr. Paulik Ferenccel **készült beszélgetés itt olvasható: http://www.kfki.hu/chemonet/TermVil/tv2000/tv0003/eotvos2.html**

A derivatogram néhány általában jellegzetes csúcs-megjelenési helye a következő:

- **~ 100 °C-nál látható endoterm DTA csúcs (TG-n tömegveszteséggel jár) a minta abszorbeált (elnyelt) nedvességének elvesztését mutatja;**
- **~ 120-160 °C-nál látható endoterm DTA csúcs (TG-n tömegveszteséggel jár) az erősebben kötött víz elvesztését jelzi (pl. háromrétegű agyagásványoknál a rétegközi kation hidrátburkának elvesztése);**
- **~ 300 °C-nál exoterm tömegveszteséggel járó csúcs jelzi a szerves anyagok bomlását, valamint a fémhidroxidok bomlását pl. $Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + H_2O$;**

- **500-600 °C endoterm tömegveszteséggel járó csúcs az agyagásványok szerkezeti vizének elvesztését jelzi;**

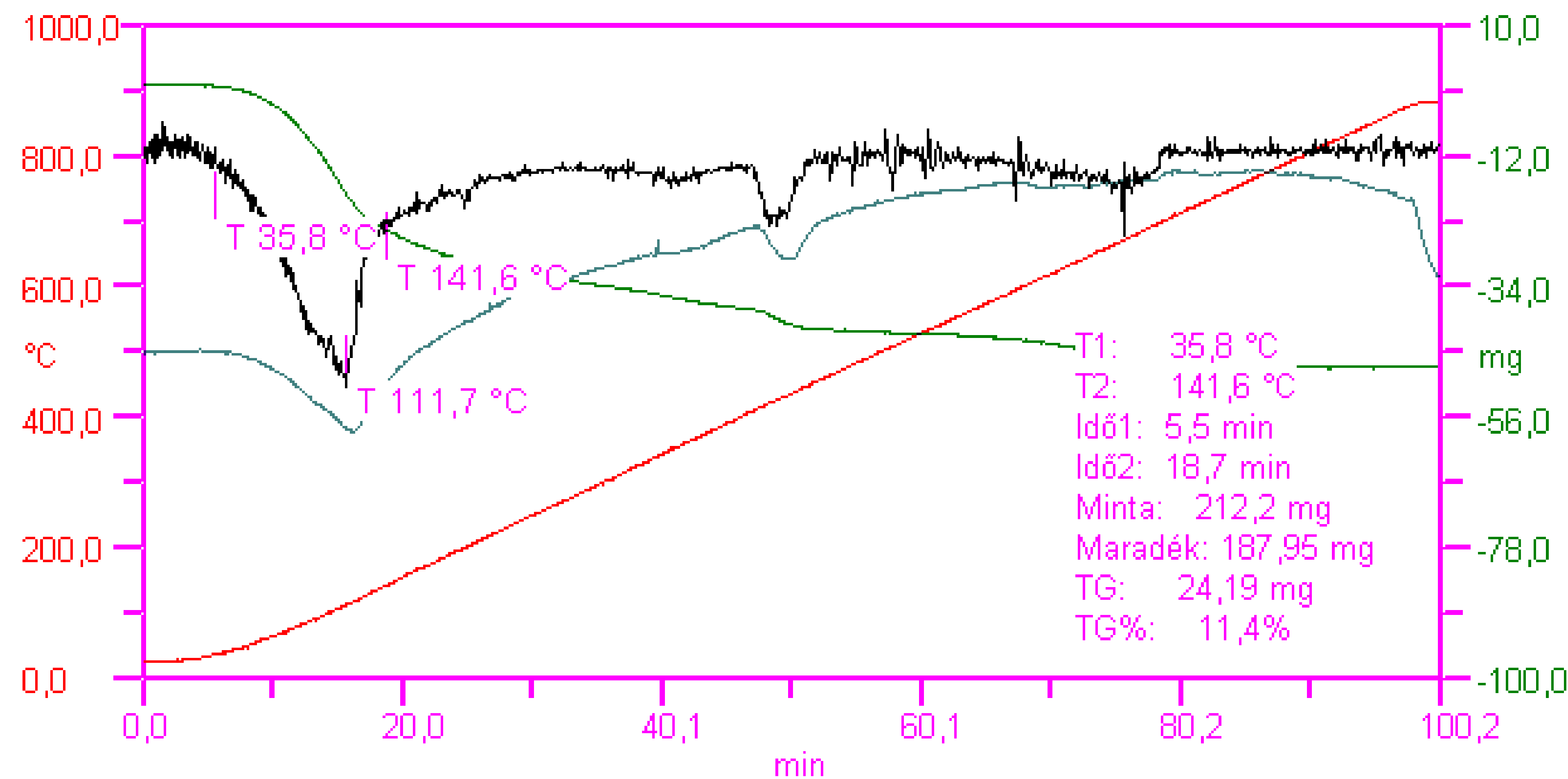
- **~ 573 °C kis endoterm DTA csúcsnál (tömegváltozással nem jár) az α-β kvarc kristályosodik át. Jellemző, hogy csak a ~10 % kvarctartalom felett mutatkozik csúcs, illetve, hogy más csúcsok (pl. agyagásványok szerkezeti vizének elvesztése elfedhetik;**

- **600-800 °C endoterm DTA csúcs (tömegveszteséggel jár) a $MgCO_3$ dekarbonizáció-ja. A tömegveszteség alapján a sztöchiometria alkalmazásával kiszámítható a minta $MgCO_3$ tartalma. A csúcs jellemzője a szimmetrikus lefutás;**

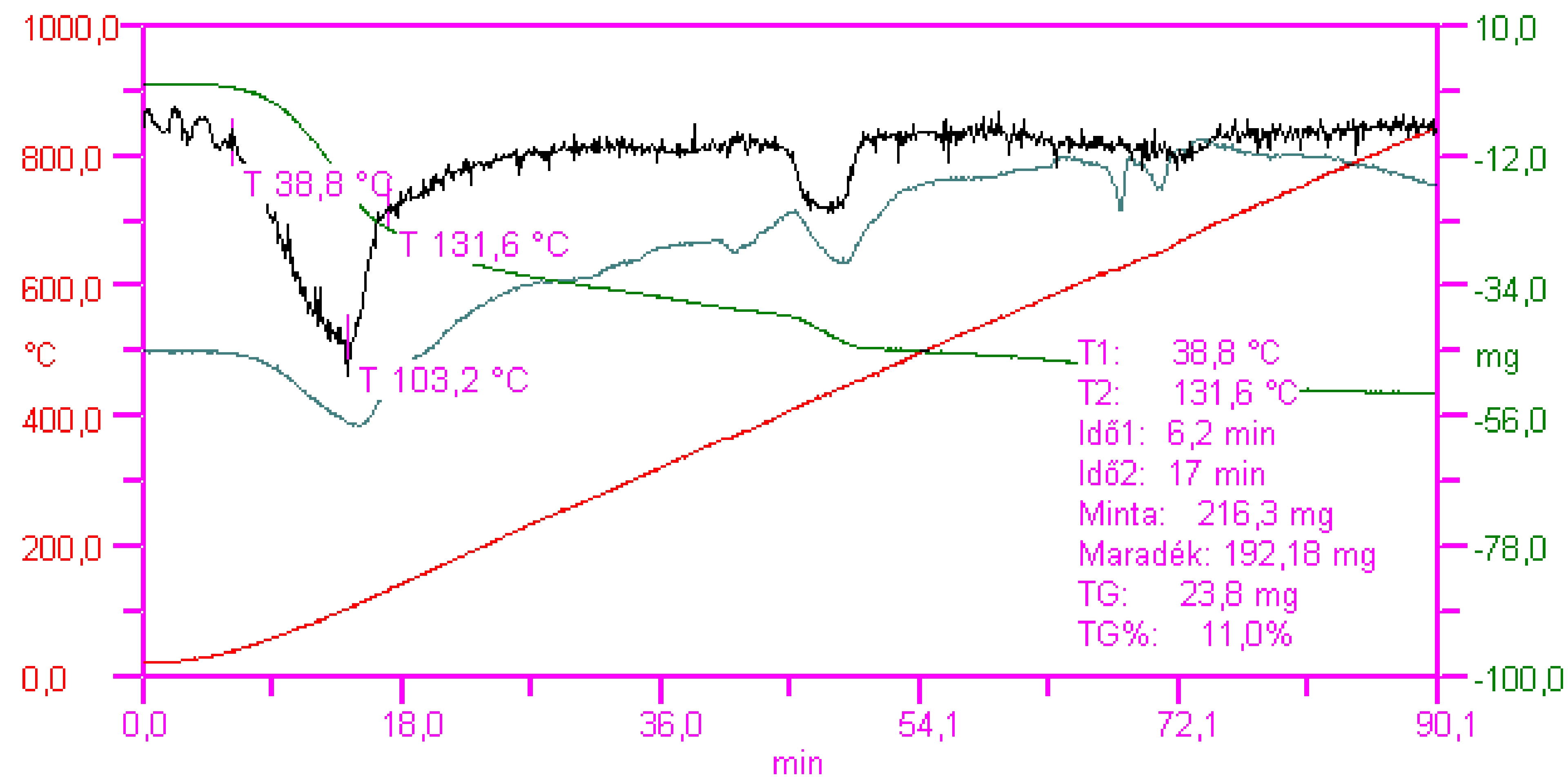
- **720-950 °C endoterm DTA csúcs (tömeg-veszteséggel jár) a $CaCO_3$ dekarbonizációja, $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$. A csúcs jellegzetesen aszimmetrikus. A tömegveszteségből a minta $CaCO_3$ tartalma kiszámítható. Dolomit tartalmú mintáknál előbb a $MgCO_3$, majd a $CaCO_3$ dekarbonizációja figyelhető meg.**

A következő két derivatogramon két különböző cementből készült, különböző korú, megszilárdult cementpép derivatogramja látható. Láthatóan alacsony hőmérsékleten a hőközlés hatására mindkét mintában jelentős tömegcsökkenés ment végbe, mely a DTG görbe segítségével és a TG görbe adataival mennyiségileg is megadható a bemért minta tömegére vonatkozatva (m%-ban).

Az alacsony hőmérsékletű tömegváltozás általában több lépcsős folyamat, amelyet nem tulajdoníthatunk csak a „fizikailag” kötött nedvességtartalomnak. Alacsony hőmérsékleten elindulnak a klinkerásványok kötési folyamatában kialakuló ún. hidrátfázisok (hidratált klinkerásványok) tömegvesztési folyamatai is. Ezek már nem csak a környezet és a minta közötti egyensúly, vagy pl. az utókezelésből származó

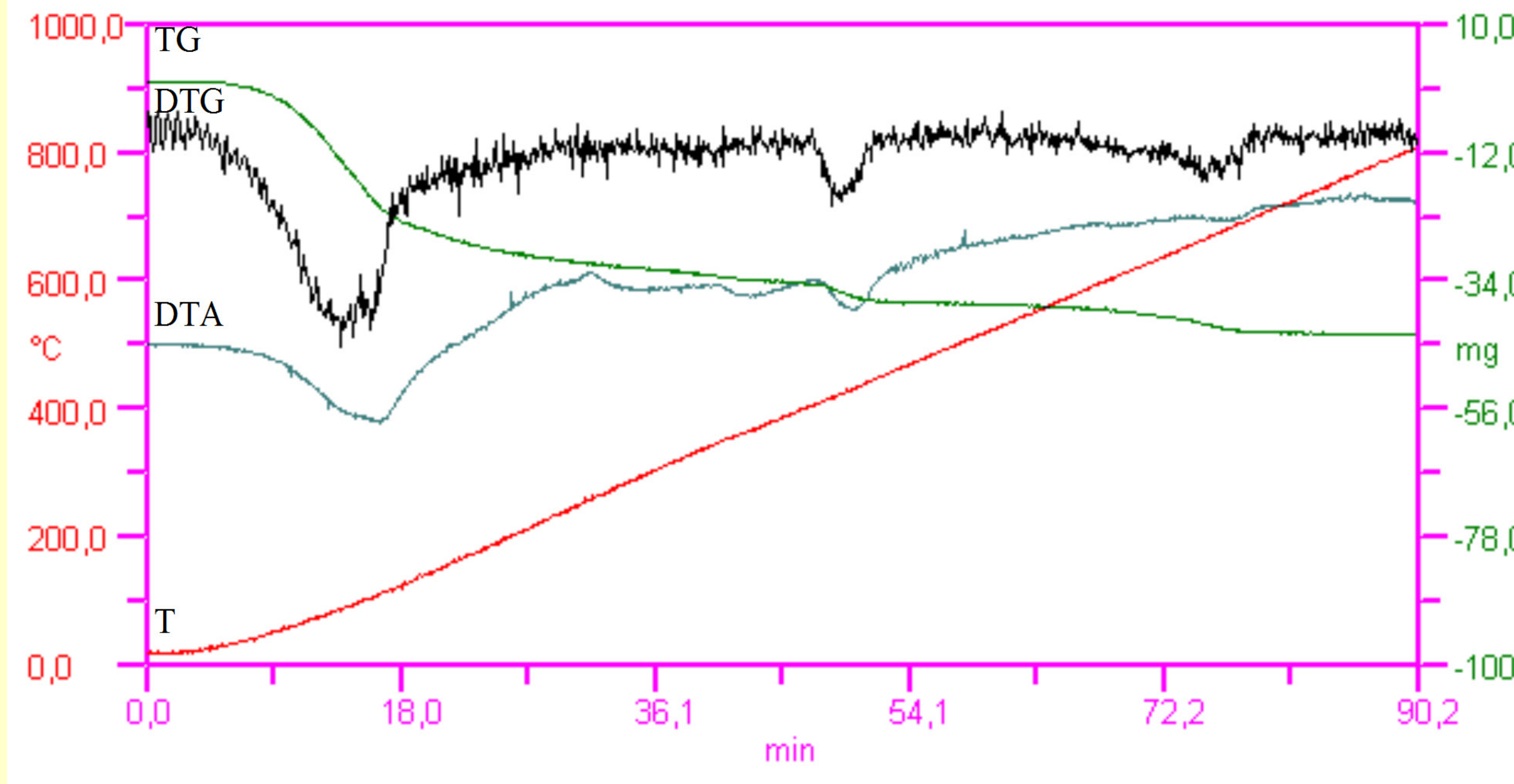


CEM III/A 32,5 cementből készült 180 napos pépminta derivatogramja, 20°C-on szilárdult, a mérés az idő függvényében, a minta tömegvesztesége 35,8 °C és 141,6 °C között 11,40 m%



CEM I 42,5 cementből készült 56 napos pépminta derivatogramja, 20°C-on szilárdult, a mérés az idő függvényében, a minta tömegvesztesége 38,8 °C és 131,6 °C között 11,00 m%

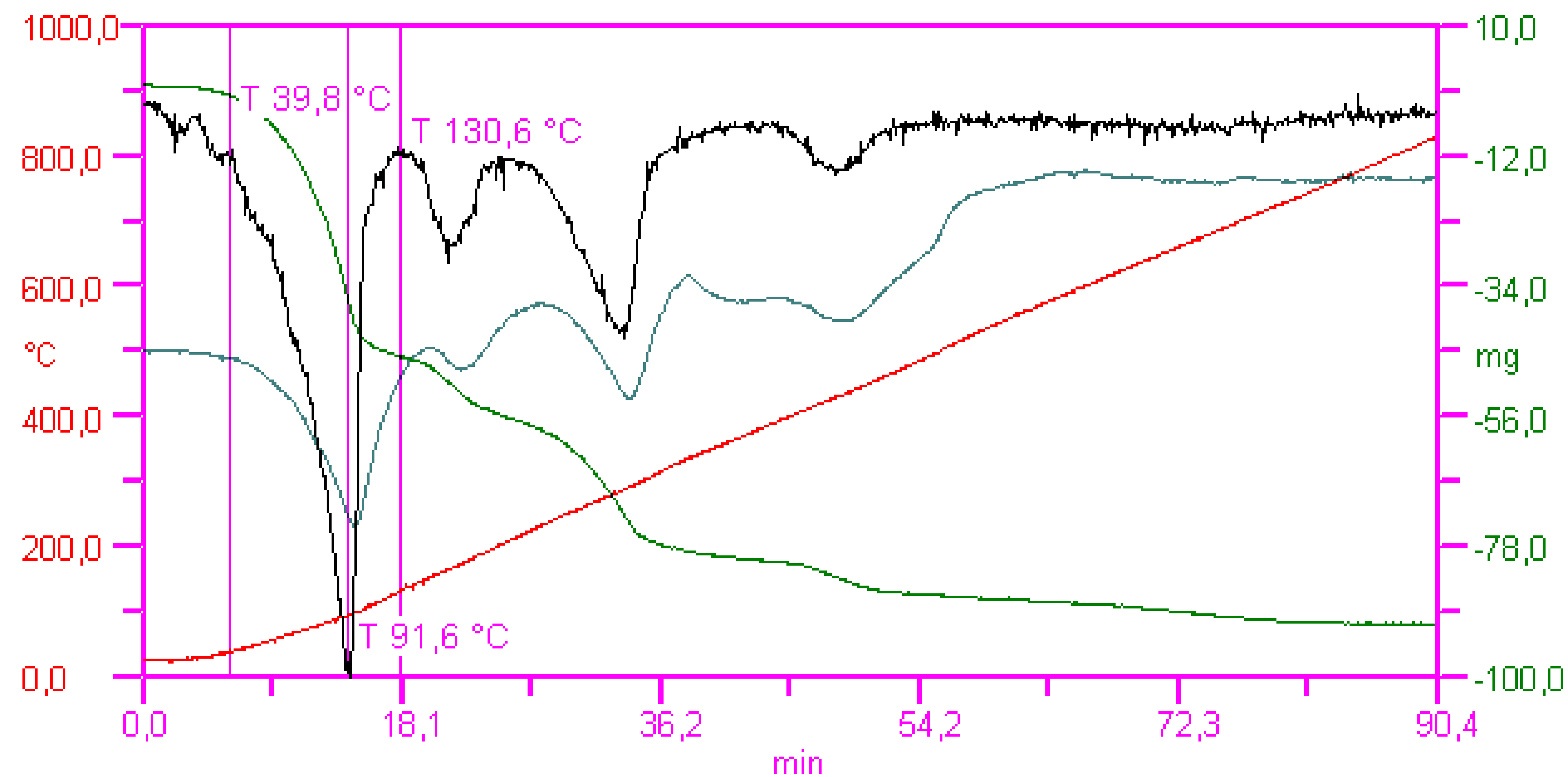
A szilikát klinkerek (trikalcium-szilikát C_3S, dikalcium-szilikát C_2S) kötési folyamatuk során jelentős víztartalmú, de részben gél állapotú fázist hoznak létre. Legnagyobb részt ezek a fázisok adják a cementkő szilárdságát, egy „meggyorsított”, magasabb hőfokon végzett szárítás ezeket a szilárdsághordozó fázisokat is tönkre



CEM I 42,5 cementből készült 7 napos pépminta, 20 °C-on szilárdult, a mérés az idő függvényében történt

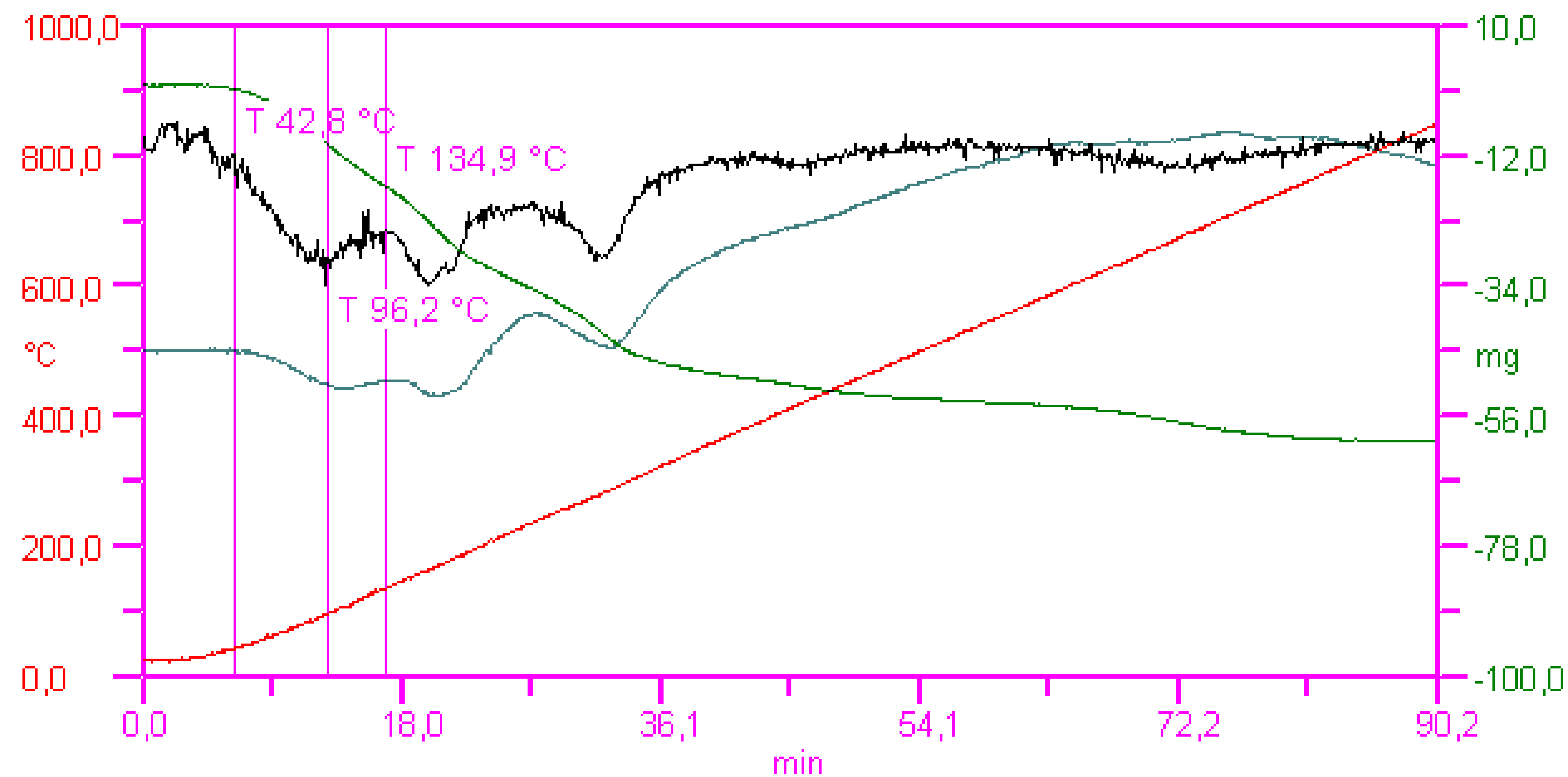
A cementek kivétel nélkül tartalmaznak valamilyen aluminát klinkert eltérő mennyiségben, még a szulfátálló is. Különösen az aluminátok hidratációja során keletkeznek olyan fázisok, melyek nagy mennyiségű ilyen jellegű vizet (rétegközi vagy kristályvizet) tartalmaznak.

A következő két ábrán aluminát pépminták derivatogramja látható.



Szintetikus C_3A és gipsz 10:1 tömeg arányú keverékéből, kötésvízzel készült pépminta derivatogramja, 180 napos, 20°C-on szilárdult. Tömegveszteség 39,8 °C és 130,6 °C között 23,38 m%

Kausay



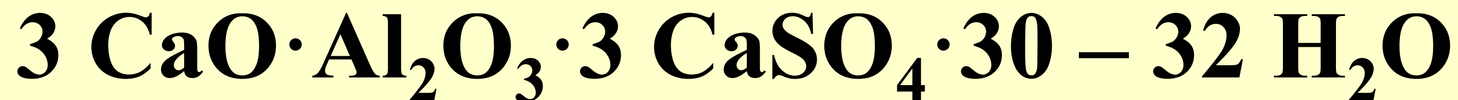
Szintetikus C_4AF és gipsz 10:1 tömeg arányú keverékéből, kötésvízzel készült pépminta derivatogramja, 180 napos, 20°C-on szilárdult. Tömegveszteség 42,8 °C és 134,9 °C között 8,05 m%

Fontosabb ásványok termikus endoterm kitérései növekvő hőmérséklet sorrendjében

Endoterm csúcs hőmérséklete (°C)	Mi adhatja a csúcsot
100	kaolinit, dickit, nakrit
100...120	vermikulit
100...200	allofán, anauxit, attapulgit, beidellit, gipsz, halloysit, metahalloysit, paligorszkit, szaponit, szépiolit, fireclay
100...220	illit
100...250	allevardit
100...300	hectorit, montmorillonit, nontronit
115	tridimit
130...180	ettringit
150...160	tridimit
150...200	glaukonit, szeladonit

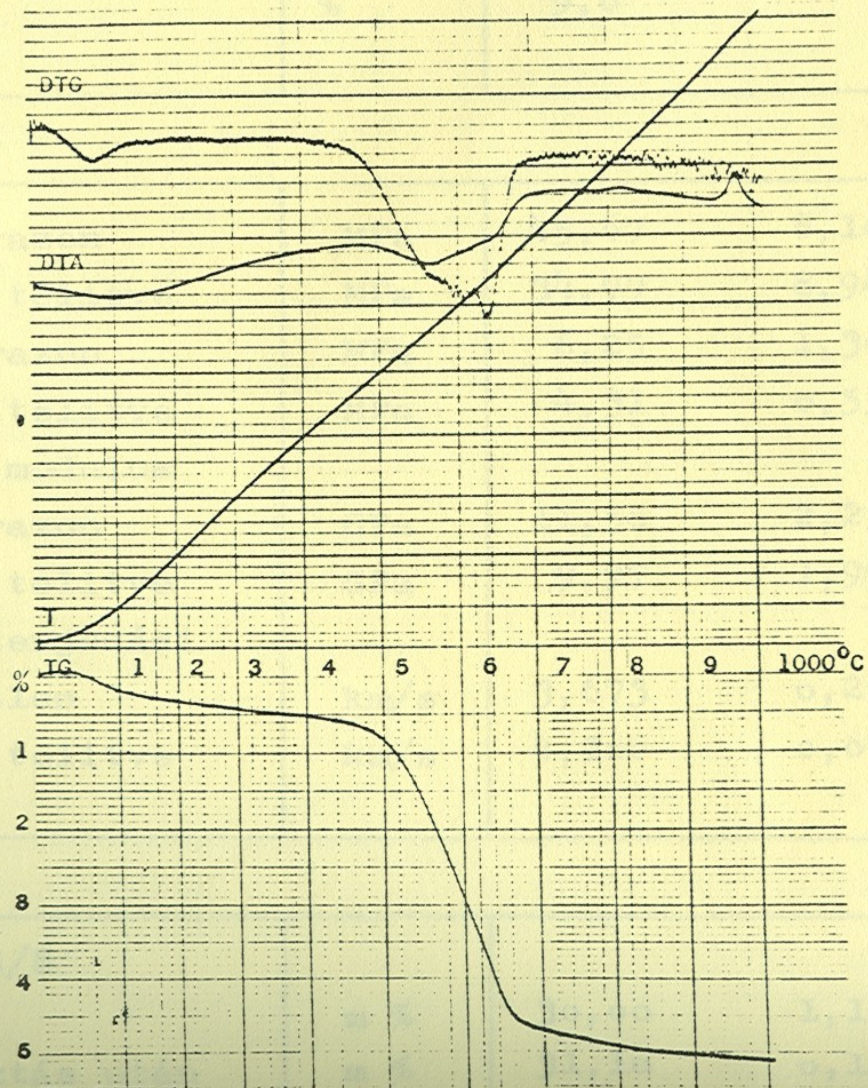
Kausay

Az elsődlegesen képződő ettringit különböző átalakulások során, víz jelenlétében a gyorsan kötő trikalcium-aluminát (klinker ásvány) és gipsz egymásra hatásából keletkezik, tehát hidratációs termék:



vagy kevés gipsz jelenlétében (monoszulfát):

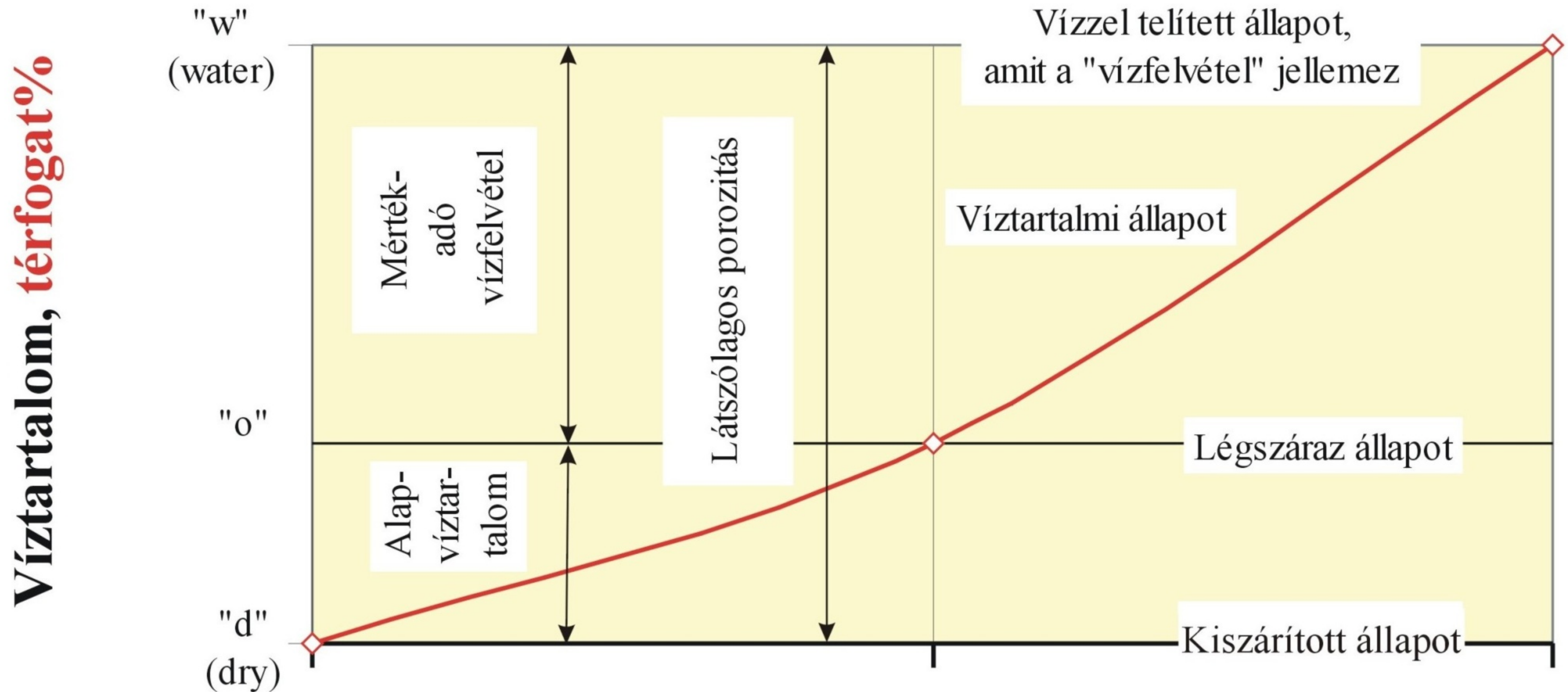




Magyargenes
824275/1
BAZALTTUFA
DTG
DTA
T
TG
%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 1000°C
5
10
15
20

VÍZTARTALMI ÁLLAPOTOK





Térfogat%-ban kifejezett víztartalmi állapot bemutatása
Víztartalom, térfogat%
"w"
(water)
"o"
"d"
(dry)
Mérték-
adó
vízfelvétel
Látszólagos porozitás
Alap-
víztar-
talom
Vízzel telített állapot,
amit a "vízfelvétel" jellemez
Víztartalmi állapot
Légszáraz állapot
Kiszárított állapot
Látszólagos porozitás térfogat% = Alapvíztartalom térfogat% + Mértékadó vízfelvétel térfogat%

Víztartalom. **(Szokták nedvességtartalomnak is nevezni). Az építőanyagtan felfogása szerint a víztartalom az anyag hidrotechnikai állapotjellemzője. Valamely anyag víztartalma ($w^{tömeg\%}$) az adott időpontban, tömeg%-ban kifejezve, az adott időpontban az anyag pórusaiban lévő víz tömege és a kiszárított anyag tömege hányadosának százszorosa:**

$$w^{tömeg\%} = w * 100 = \frac{M'_{Víz}}{M} * 100$$

ahol:

- **$M'_{Víz}$ = Pórusokban lévő víz tömege adott időpontban = Vizes anyag tömege adott időpontban - Kiszárított anyag tömege [g]**
- **M = Kiszárított anyag tömege [g]**

Vannak ritka helyzetek, amelyekben a víztartalmat úgy adják meg, hogy a pórusokban vagy a szemhalmazban lévő víz tömegét nem a kiszárított anyag tömegére, hanem a vizes anyag tömegére vonatkoztatják, azaz a *(100*M'víz/Vizes anyag tömege)* számértéket képezik, és ezzel a víztartalmat a vizes anyag tömeg%-ában fejezik ki. Ha ennek tényét nem hangsúlyozzák ki, akkor az kellemetlen félreértéseket okozhat:

Vizes anyag tömege [g]	Kiszárított anyag tömege [g]	Kiszárított anyag tömegére vonatkoztatott $w^{tömeg\%}$ víztartalom [tömeg%]	Vizes anyag tömegére vonatkoztatott víztartalom [tömeg%]
3956,9	2677,2	47,8	32,3

Vízfelvétel. A vízfelvétel az anyag víztartalmának lehetséges legnagyobb értéke és ezért anyagjellemző. Vizsgálatához az anyagot vízzel kell telíteni, általában légköri nyomáson és *fokozatos víztelítéssel*. Ezt követően a vízzel telített próbatest víztartalmát kell meghatározni, ami fogalmainknak megfelelően nem más, mint az anyag vízfelvétele.

A vízfelvételt ($n^{tömeg\%}$) a kiszárított anyag tömegére vonatkoztatjuk és tömeg%-ban fejezzük ki.



Szentgyörgyi Lóránt fényképe, 1998.

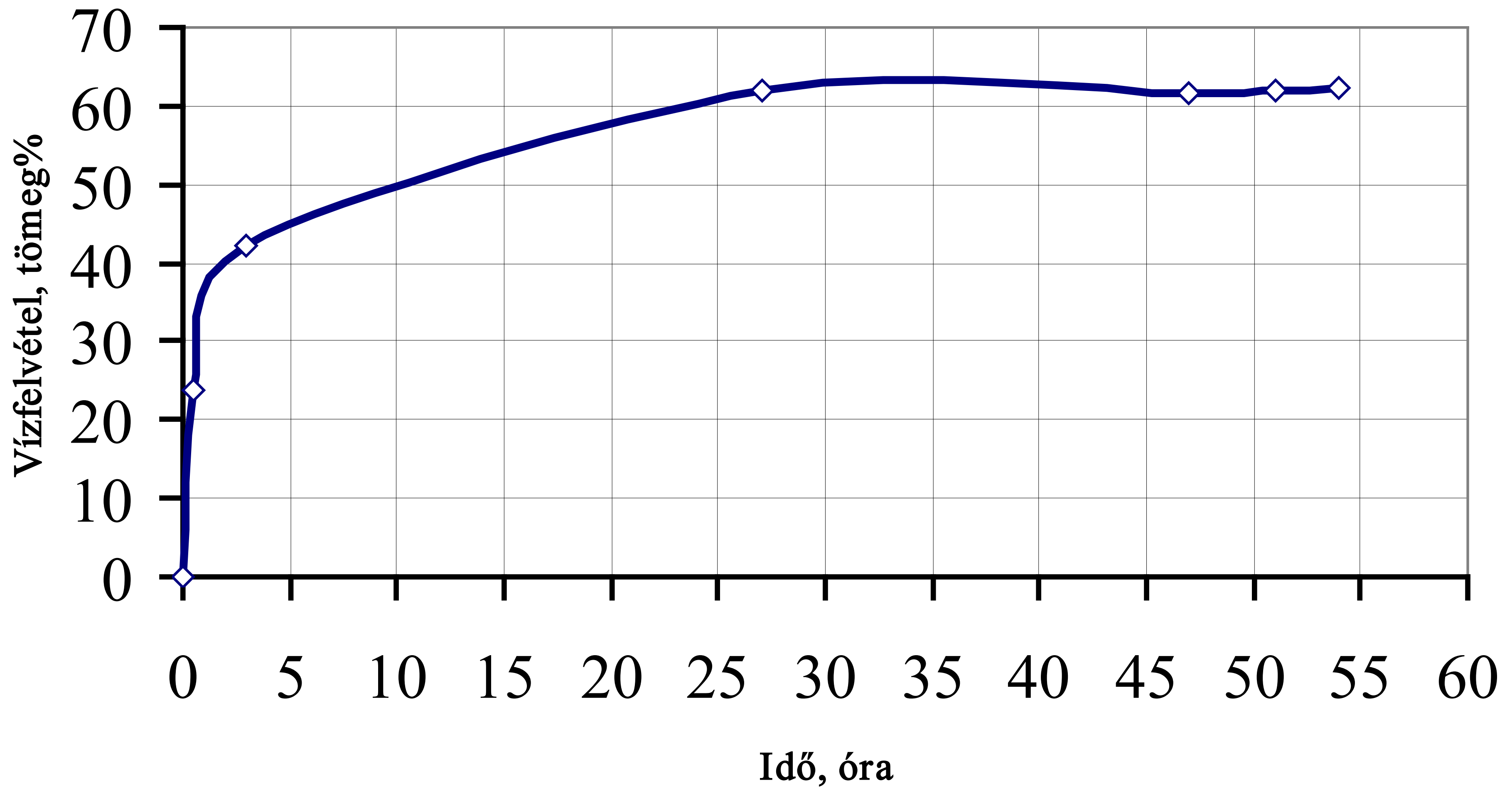
Homokalapú pórusbeton (YTONG) vízfelvétele az idő függvényében

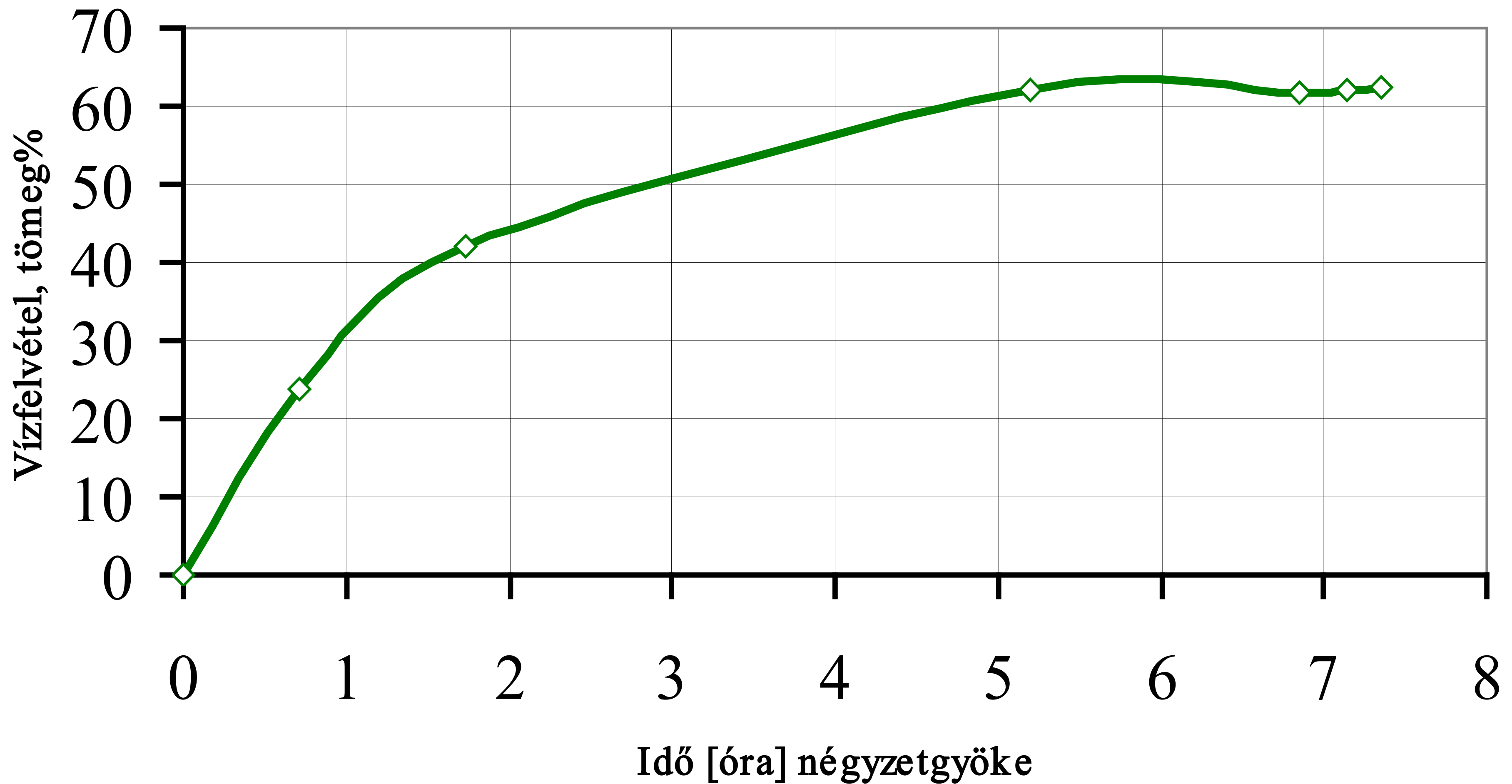
A próbakocka mérete: 105*105*105 mm = 1157,625 cm^3

Testsűrűség szárazon: 578,8 kg/m^3

Tömeg g	Idő óra	Vízfelvétel tömeg%
670	0	0,0
830	0,5	23,9
952	3	42,1
1086	27	62,1
1084	47	61,8
1086	51	62,1
1088	54	62,4

Idő óra	Idő négy-zetgyöke	Vízfelvétel tömeg%
0	0,000	0,0
0,5	0,707	23,9
3	1,732	42,1
27	5,196	62,1
47	6,856	61,8
51	7,141	62,1
54	7,348	62,4


Pórusbeton vízfelvétele az idő függvényében
Vízfelvétel, tömeg%
0
10
20
30
40
50
60
70
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
Idő, óra


Pórusbeton vízfelvétele az idő négyzetgyökének függvényében
Vízfelvétel, tömeg%
70
60
50
40
30
20
10
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
Idő [óra] négyzetgyöke

Vannak szabványok (például MSZ 18284-3:1979, MSZ EN 1353:1999), amelyek a **víztartalmat**, a **vízfelvételt** nemcsak tömeg%-ban, hanem **térfogat%-ban** is kifejezik. A térfogat%-ban kifejezett vízfelvétel a *látszólagos porozitással arányos* mennyiség. **Erről korábban már esett szó, az összefüggés azonban álljon itt még egyszer:**

$$p_{látszólagos} = \frac{n^{térfogat\%}}{100} = \frac{V_{Víz}}{V} = \frac{M_{Víz} / \rho_{Víz}}{M / \rho_T} = \frac{M_{Víz}}{M} * \frac{\rho_T}{\rho_{Víz}} = \frac{n^{tömeg\%}}{100} * \delta_T$$







Minta kiszárításának időpontja. **A vizsgálati minta kiszárításának időpontja a vízfelvétel vizsgálat során elvégezhető a próbatest**

vízzel való telítése *után* vagy *előtt*.

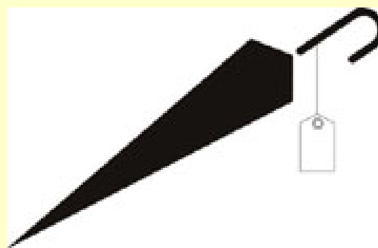
1. Az építési kőanyagok MSZ 18284-3:1979, a beton-adalékanyagok MSZ ISO 6783:1993 és MSZ ISO 7033:1992 vizsgálati szabványa szerint a kiszárított állapotú minta vízfelvételét úgy kell meghatározni, hogy a mintát előbb vízzel kell telíteni, majd ezt követően kell kiszárítani. A betonok légritkított vagy túlnyomásos térben történő MSZ 4715-3:1972 szabvány szerinti vizsgálata során és az MSZ az eljárás sorrendje ugyan ilyen.

2. Ezzel szemben a betonok MSZ 4715-3:1972, az égetett agyag falazóelemek MSZ 551-1:1988, az égetett agyag burkolóelemek MSZ 3555-1:1991 vizsgálati szabványa szerint a kiszárított állapotú próbatest vízfelvételét légköri nyomáson úgy kell meghatározni, hogy a próbatestet előbb ki kell szárítani, majd ezt követően kell vízzel kell telíteni.

Az MSZ EN 933-1:1998 szitavizsgálati szabvány szerint a mintát előbb ki kell szárítani, azután a 0,063 mm nyílású szita felett meg kell mosni, majd meg kell szárítani, hagyni kell lehűlni, és ezt követően kell a szitálást elvégezni.

Az (1.) szerinti sorrend – *előbb vízzel telít, majd kiszárít* – követése mellett az szól, hogy a kiszárítás során a párolgó vízből - amely víz általában több-kevesebb oldott sót tartalmaz - a sók kiválnak és a kapillárisokban visszamaradva, azokban méret és egyéb változásokat okozhatnak.

Ha *a vízzel való telítésre a kiszárítás után kerül sor* (2. sorrend), akkor a vizsgálati anyag kezdeti víztartalmi állapotától függő sókiválás jelensége a vízfelvétel mértékét befolyásolhatja, míg az (1.) fordított sorrend esetén ilyen mérési hibával számolni nem kell.



Kapilláris vízfelszívás

d [mm]	r [mm]	h_{max} [m]	
1	0,5	0,030	≈ 0,03
0,1	0,05	0,298	≈ 0,3
0,01	0,005	2,978	≈ 3
0,001	0,0005	29,780	≈ 30
0,0001	5E-05	297,800	≈ 300

Legyen: Hőmérséklet: t = 20,4 ºC

$\cos\theta = \cos 0^{o} =$ 1,00

$\sigma_{víz} =$ 0,0729 N/m

$\rho_{víz} =$ 998,147 kg/m^3

$g =$ 9,8067 m/s^2

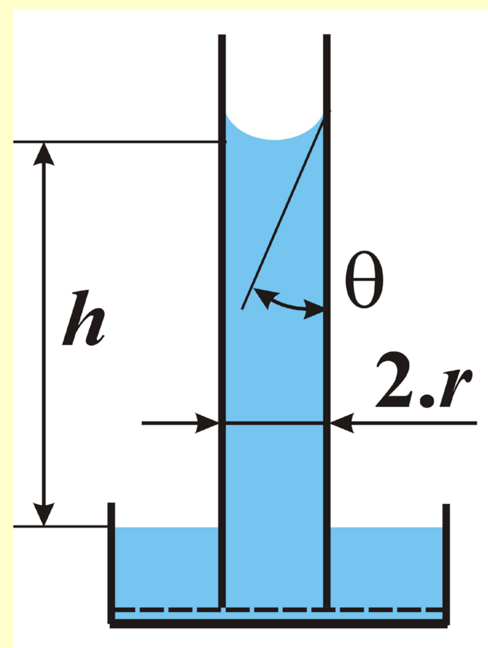
akkor: $r^{[mm]} \cdot h_{max}^{[m]} =$ 0,014895 ≈ 0,015

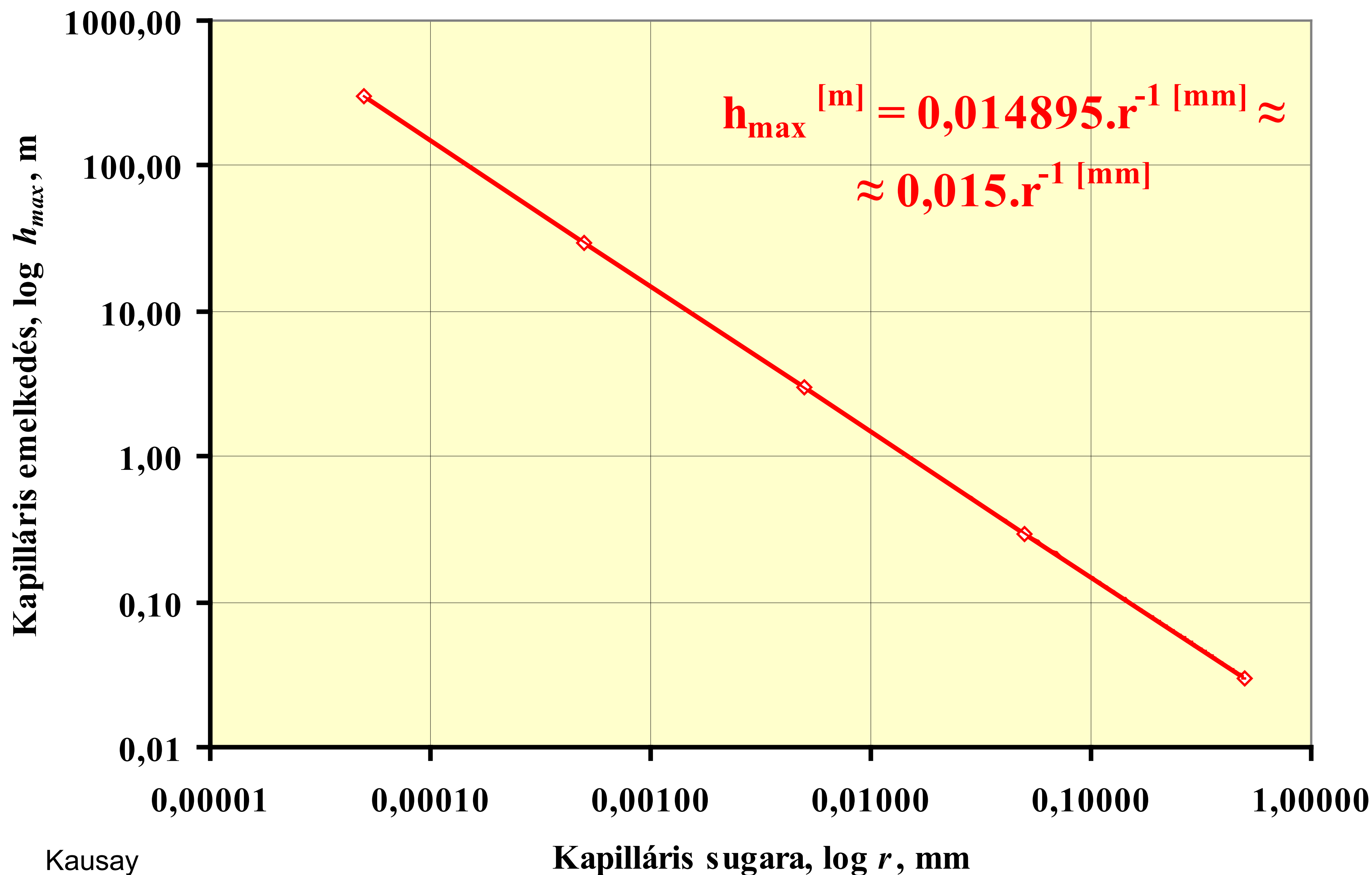
Megjegyzés: $1\ N = 1\ kg \cdot m/s^2$

ahol:

- d a kapilláris névleges átmérője [mm]
- r a kapilláris névleges sugara [mm]
- h_{max} a vízfelszívás legnagyobb magassága [m]

$$r^{[mm]} \cdot h_{max}^{[m]} = 1000 \cdot \frac{2 \cdot \sigma_{víz}^{[N/m = kg/s^2]} \cdot \cos\theta}{\rho_{víz}^{[kg/m^3]} \cdot g^{[m/s^2]}}$$




Kapilláris emelkedés a kapilláris sugara függvényében
1000,00
100,00
10,00
1,00
0,10
0,01
Kapilláris emelkedés, log h_{max}, m
$h_{max}^{[m]} = 0{,}014895.r^{-1\,[mm]} \approx$
$\approx 0{,}015.r^{-1\,[mm]}$
0,00001
0,00010
0,00100
0,01000
0,10000
1,00000
Kapilláris sugara, log r, mm
Kausay

A víz felületi feszültsége ($\sigma_{víz}$) a hőmérséklet ($t_{víz}$) függvényében

$t_{víz}$ [°C]	$\sigma_{víz}$ [N/m]	
20,0	0,072960	
20,1	0,072945	
20,2	0,072930	
20,3	0,072914	
20,4	0,072899	**≈ 0,0729**
20,5	0,072884	
20,6	0,072869	
20,7	0,072854	
20,8	0,072838	
20,9	0,072823	
21,0	0,072808	
21,1	0,072793	
21,2	0,072778	
21,3	0,072762	
21,4	0,072747	
21,5	0,072732	
21,6	0,072717	
21,7	0,072702	
21,8	0,072686	
21,9	0,072671	
22,0	0,072656	

$\sigma_{víz} = 0{,}076*(1-0{,}002*t)$ [N/m]

Forrás: http://www.physics.kee.hu/jegyzet/sztalag.html

Budapesti Corvinus Egyetem fizika jegyzete az interneten

Néhány folyadék felületi feszültsége a levegőre vonatkoztatva

Forrás: http://www.szulo.hu/fizika/foly/foly3.htm

Porkoláb Tamás: A folyadékok mechanikája III.

Folyadék	Víz	Higany	Étolaj	Petró-leum
Felületi feszültség [10^{-2} N/m]	7,29	4,91	3,3	2,7


Kausay


'06 02 24

Elgőzölhető és el nem gőzölhető víz

E fogalmakat elsősorban a cementkőben található víz tulajdonságainak leírására használjuk, de értelemszerűen más építőanyagok hidrotechnikai állapotának jellemzésére is alkalmazhatjuk.

A cementkőben lévő víz egy része a hidratált cementszemcsék közötti pórusokat, hézagokat tölti ki, ezt pórusvíznek hívják, más része kémiailag kötött állapotban van, ennek kémiailag kötött víz a neve. E kétféle víz gyakorlati megkülönböztetésére vezette be 1948-ban *Powers* és *Brownyard* az elgőzölhető és az el nem gőzölhető víz fogalmát.

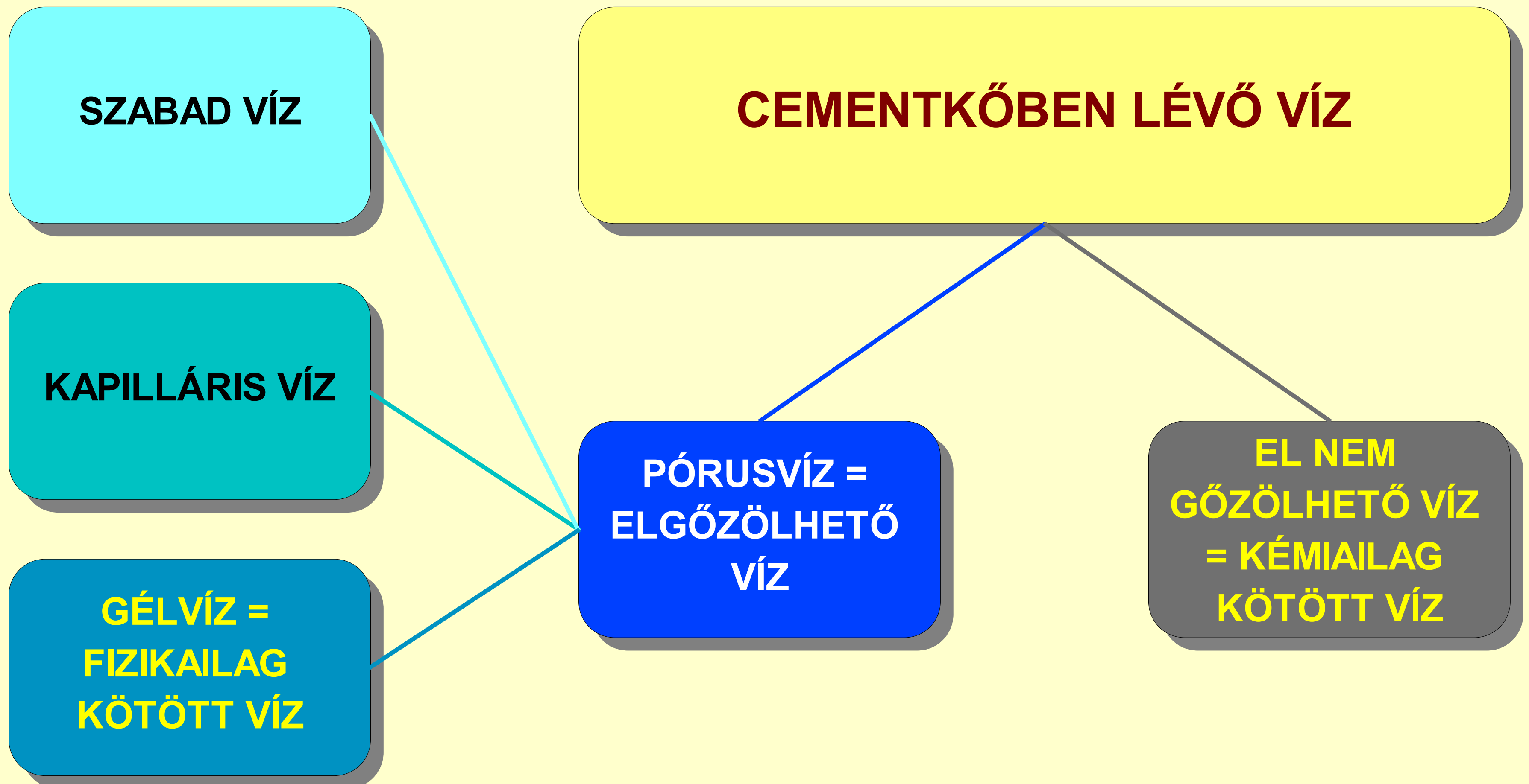
Az **elgőzölhető** (elgőzölögható, elgőzölögtethető) víz, azaz **pórusvíz** az a víz, amelynek gőznyomása 23 °C hőmérsékleten nagyobb, mint $6 \cdot 10^{-4}$ Torr (=79,99 N/m^2 = $7{,}89 \cdot 10^{-7}$ atm). Ez lényegében annak a víznek felel meg, amely 105-110 °C hőmérsékletű szárítás során a testből eltávozik. A cementkőből elgőzölhető víz, - más néven a pórus víz - szabad vízből, kapilláris vízből és gélvízből áll.

Az elgőzölhető víz egyik, legmozgékonyabb része az ún. szabad víz, amely a hidratált cementszemcsék közötti pórusokban található. Kötőereje viszonylag gyenge, a szabad víz molekulák akár el is párologhatnak. Előfordul (például a német szakirodalomban), hogy a kapilláris víztől nem különböztetik meg.

Az elgőzölhető víz másik része az ún. kapilláris víz, amely a nagyobb kapillárisokban helyezkedik el. A kapilláris víz a vízmolekulák hidrogénhíd-kötése és a kapilláris erők folytán vízfilmet képez a kapilláris falán. *A kapilláris víz tulajdonképpen szabad vízként viselkedik*, bár mozgása a kapilláris felületi feszültségek miatt a szabad vízénél nehezebb, de éppen a felületi feszültségek hatására a nehézségi erő ellenében a kapillárpórusban felemelkedni képes. Ha a levegő relatív páratartalma 40 %-nál kisebb, akkor a cementkő nem tartalmaz sem szabad, sem kapilláris vizet. Fagyhatás esetén a kapilláris víz (sótartalmától függően) általában -3 °C hőmérséklet alatt megfagy.

A cementkő gélpórusaiban lévő ún. gélvíz az elgőzölhető víz harmadik része. A gélvíz többnyire egy molekula vastagságnyi rétegben tapad a hidratációs termékek felületéhez fizikai adszorpcióval (folyadék vagy gáz kapcsolódása szilárd test felületéhez), ezért *fizikailag kötött víznek* is hívják. A gélvíz kötőereje majdnem eléri a kémiailag kötött víz kötődését, ezért e kapcsolatot a olykor kémiai adszorpciónak nevezik. A gélvíz mennyisége a levegő páratartalmától és a hidratációs foktól függ, a cement tömegének 10±5 %-át teszi ki. A gélvíz felületén nagy felületaktív erők működnek, ezért fagyhatás során a gélvíz csak mintegy -78 °C hőmérsékleten fagy meg.

Az el nem gőzölhető víz, más néven a *kémiailag (szerkezetileg) kötött víz* a hidratáció során épül be a cementkőbe, és 105-110 °C hőmérsékletű szárítás után is a cementkőben marad. Az el nem gőzölhető vizet a (pórus mentes) szilárd anyag alkotó elemének tekintjük. A kémiailag kötött víz mennyisége a cement mennyiségének legalább mintegy 15-18 tömeg%-a.


SZABAD VÍZ
CEMENTKŐBEN LÉVŐ VÍZ
KAPILLÁRIS VÍZ
PÓRUSVÍZ = ELGŐZÖLHETŐ VÍZ
EL NEM GŐZÖLHETŐ VÍZ = KÉMIAILAG KÖTÖTT VÍZ
GÉLVÍZ = FIZIKAILAG KÖTÖTT VÍZ

CEMENTKŐ PÓRUSSZERKEZETE

Az adalékanyagnak is van pórusszerkezete. A cementkő és az adalékanyag pórus-szerkezetére jellemző, hogy *a pórusok szilárd anyaggal ki nem töltött, tömeg nélküli, különböző terek,* amelyekben gázállapotú anyag (többnyire levegő) vagy elgőzölhető víz, ill. folyadék található. E tömeg nélküli tereket méreteik, mennyiségük, elhelyezkedésük, keletkezésük alapján különböztetjük meg.

A cementkő pórusai általában *nyitottak*, fajtái: légpórusok, esetleg légbuborékok, továbbá kapillárpórusok és gélpórusok.

A **légpórusok** (németül: Verdichtungsporen) a szilárduló cementkőben akaratunk ellenére, de gondos tömörítés mellett is visszamaradó, viszonylag nagyobb méretű, esetleges elrendeződésű pórusok.

Az olyan betont, amelyben a „pórusok” átmérője az 1 mm-t erősen meghaladja és keletkezésük gondatlan tömörítésre vezethető vissza, **fészkes betonnak** mondják, és az ilyen „pórusok” neve nem is pórus, hanem pl. üreg.

A **sejtbetonok** (gázképzővel előállított gázbeton → „pórusbeton”, vagy habképzővel előállított habbeton zárt sejtjeinek átmérője legfeljebb 2 mm.

A ***légbuborékok*** **(németül: Luftporen) a beton fagyállóságának, olvasztósó-állóságának javítására légbuborékképző adalékszerrel a cementkőben tudatosan létrehozott, közel gömb alakú, egymástól független pórusok. A légbuborék-eloszlásra követelmény, hogy az ún. távolsági tényező, azaz a cementkő bármely pontjától a hozzá legközelebb eső légbuborék felszínének távolsága nem lehet több, mint 0,2 mm. A frissbeton légbuborékképző adalékszerrel bevitt levegőtartalma 4-6 térfogat%, a 28 napos korú légbuborékos beton nyomószilárdsága a légbuborékképzőszer nélküli beton nyomószilárdságának legalább 75 %-a.**

A cementkőben lévő kapillárpórusok (németül: Kapillarporen) a keverővíz mennyiségétől függően keletkeznek. A cement hidratációja során a cementkőbe legfeljebb a cement mintegy 30 - 35 tömeg%-át kitevő vízmennyiség épül be, ami 0,30 - 0,35 értékű víz-cementtényezőnek felel meg. Ha a beton ennél több vízzel készül, akkor a vízfelesleg finom, hajszálcsöves, gyakran összefüggő pórusrendszert hoz létre, amelynek alkotói a beton felületére is kivezető kapillárpórusok. A kapillárpórusok mennyiségének növekedésével a cementkő és a beton minősége romlik. A kapillárpórusokat egyszerűen *kapillárisoknak* is szokták nevezni.

A gélpórusok (németül: Gelporen) a hidratált cementszemcsén belül, a cementgélben helyezkednek el, és a cementgéllel együtt a cement hidratációja folyamán keletkeznek. A cementgél teljesen össze nem növő tábla-, lemez-, szálalakú hidratációs termékekből áll, amelyek között a gélpórusok találhatók. A gélpórusok a folyadékokat és a gázokat gyakorlatilag nem eresztik át. A cement hidratáció előrehaladtával a hidratációs termékek mennyisége növekszik, a gélpórusok mennyisége csökken.

A cementkőben lévő pórusok hozzávetőleges átmérője	
Megnevezés	**Átmérő**
Légpórusok	**10 - 1000 μm = 0,01 - 1 mm**
Légbuborékok	**≤ 300 μm = 0,3 mm**
Kapillárpórusok	**0,1 - 10 μm = 10^{-4} - 10^{-2} mm**
Gélpórusok	**0,001 - 0,1 μm = = 10^{-6} - 10^{-4} mm**

A pórusvíz fagyás pontja a pórusméret függvényében

Forrás: Balázs György – Tóth Ernő: Beton- és vasbeton szerkezetek diagnosztikája I. Műegyetemi Kiadó, 1997.

Pórus	Pórusméret mértékegységek szerint					Pórusvíz fagyás pontja °C
	m	mm	**µm**	nm	Å	
	méter	milliméter	mikrométer	nanométer	ángström	
	1 m	10^{-3} m	**10^{-6} m**	10^{-9} m	10^{-10} m	
Durva pórus	$> 10^{-3}$	> 1	**$> 10^{3}$**	$> 10^{6}$	$> 10^{7}$	**0 – (-3)**
Légpórus	$10^{-5} – 10^{-3}$	$10^{-2} – 1$	**$10 – 10^{3}$**	$10^{4} – 10^{6}$	$10^{5} – 10^{7}$	**0 – (-3)**
Kapillár-pórus	$10^{-7} – 10^{-5}$	$10^{-4} – 10^{-2}$	**0,1 – 10**	$10^{2} – 10^{4}$	$10^{3} – 10^{5}$	**0 – (-3)**
Gélpórus	$10^{-8} – 10^{-7}$	$10^{-5} – 10^{-4}$	**$10^{-2} – 0,1$**	$10 – 10^{2}$	$10^{2} – 10^{3}$	**- 15**
	$10^{-9} – 10^{-8}$	$10^{-6} – 10^{-5}$	**$10^{-3} – 10^{-2}$**	1 – 10	$10 – 10^{2}$	**- 43**
	$< 10^{-9}$	$< 10^{-6}$	**$< 10^{-3}$**	< 1	< 10	**- 160**
Légbuborék (adalékszer-rel képzett)	$< 3 \cdot 10^{-4}$	< 0,3	**$< 3 \cdot 10^{2}$**	$< 3 \cdot 10^{5}$	$< 3 \cdot 10^{6}$	

Repedések

Szilárd anyaggal ki nem töltött, tömeg nélküli, terek a repedések is **(ezeket azonban nem tekintjük a beton, illetve a cementkő pórusszerkezete részének).**



Szilárd anyaggal ki nem töltött, tömeg nélküli, terek a repedések is **(ezeket azonban nem tekintjük a beton, illetve a cementkő pórusszerkezete részének).**

A repedések fajtái okok szerint

- **zsugorodási repedések;**
- **hőmérséklet változás hatására keletkező (tágulási-összehúzódási) repedések;**
- **süllyedésből származó repedések;**
- **alakváltozási (pl. nem megfelelő teherbírásból vagy merevségből, megengedettet meghaladó terhekből vagy dinamikus igénybevételből, korrózióból eredő stb.) repedések.**

Repedések fajtái elhelyezkedés szerint

- stabil (megállapodott) – nem stabil (terjedő, mélyülő) repedés;
- átmenő – felületi repedés;
- hosszrepedés, keresztrepedés, vízszintes repedés, függőleges repedés;
- egyes repedés, párhuzamos repedések, hálós repedések, sugárirányú repedések stb.

Repedések fajtái tágasság szerint

- hajszálrepedés ≤ 0,1 mm;
- 0,1 mm < finom repedés ≤ 0,3 mm;
- 0,3 mm < közepes tágasságú repedés ≤ 0,5 mm;
- 0,5 mm < nagy tágasságú repedés ≤ 1,0 mm;
- 1,0 mm < durva repedés



KÖSZÖNÖM A FIGYELMÜKET